

La metáfora en la creación científica como inteligencia natural y comunicativa y el nexo matemática-realidad

Análisis epistémico-interdisciplinario de los hitos de la inteligencia natural metafórica (S. XVI al XXI), su incidencia en la docencia y su distinción sustantiva respecto de la Inteligencia Artificial

HUMBERTO MAGNASCO



Magnasco, Humberto M.

La metáfora en la creación científica como inteligencia natural y comunicativa y el nexa matemática-realidad: análisis epistémico interdisciplinario de los hitos de la inteligencia natural metafórica S. XVI al XXI, su incidencia en la docencia y su distinción sustantiva respecto de la Inteligencia Artificial / Humberto M. Magnasco. - 1a ed. - Rosario: CEI ediciones, 2026.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-631-92038-0-6

1. Metáforas. 2. Formación Docente. 3. Comunicación Científica. I. Título.

CDD 807

Diseño de tapa: Cintia Lorena Espinosa

Diseño y maquetación: Cintia Corestein

Tipografía: Faustina. García & Omnibus-Type Team

Magnasco, Humberto M.

Universidad Nacional de Rosario, 2026

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

Publicado bajo licencia Creative Commons



Edición y publicación Centro de Estudios Interdisciplinarios, UNR

Director: Prof. Darío Maiorana

Maipú 1065 3° piso of 309, Rosario, Argentina

Tel: (0341) 4802781

Correo electrónico: cei@unr.edu.ar

LA METÁFORA EN LA CREACIÓN CIENTÍFICA COMO INTELIGENCIA NATURAL Y COMUNICATIVA Y EL NEXO MATEMÁTICA-REALIDAD

Análisis epistémico-interdisciplinario de los hitos de la inteligencia natural metafórica (S. XVI al XXI), su incidencia en la docencia y su distinción sustantiva respecto de la Inteligencia Artificial

A mi esposa Vivi

Este elegantísimo sistema del Sol, los planetas y los cometas sólo puede originarse en el consejo y dominio de un ente inteligente y poderoso. Este rige todas las cosas como dueño de los universos. Y suele llamársele señor dios o amo universal
Isaac Newton, “Principios Matemáticos de la Filosofía Natural”

Las partículas elementales de la física actual se encuentran mucho más emparentadas con los cuerpos platónicos que con los átomos de Demócrito. Están determinadas —como tales cuerpos— por exigencias de simetría matemática.... Dios es matemático
Weiner Heisenberg, “El hombre y el átomo” y “Más allá de la Física”

cuando las ideas revolucionarias de la Física cuántica salieron a la luz pública, la gente tendía a considerarlas desde sus antiguas ideas, esto es la idea de partícula. Pero cuando estas ideas antiguas comenzaron a fallar, una advertencia se desarrolló: las antiguas ideas no son buenas... Si elimina todas las antiguas ideas [electrón bajo la metáfora de la “pelotita”] y hace uso de las nuevas no hay necesidad de hablar de un principio de incertidumbre
Richard Feynman, “La extraña teoría de la luz y la materia”

¿Qué es, pues, la verdad? Un ejército de metáforas que tras un prolongado uso parecen fijas, canónicas, obligatorias... La teoría atómica de la materia es una de las cosas mejor rebatidas que existen, y quizá no existe en Europa un solo sabio que sea tan ignorante como para conferirle cierta importancia
Friedrich Nietzsche, “Sobre verdad y mentira en sentido extramoral”

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN: EXPERIENCIAS SOBRE UN PROCESO DE INTELIGENCIA NATURAL Y PROMESAS DE INICIO DE CAMINO	12
METÁFORAS USADAS POR MI PROFESOR	13
UN PROCESO DE INTELIGENCIA NATURAL	15
¿CÓMO SURGEN LAS IDEAS EN LA CIENCIA?	19
PROMESAS DE INICIO DE CAMINO	23
SOBRE ESTE LIBRO Y SUS LECTORES	24
OPORTUNIDAD EN LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA	26
ESTRUCTURA Y PLAN DE LA OBRA	33
DISTINTOS ITINERARIOS DE LECTURA DE ESTE LIBRO	42
LA METÁFORA COMO NÚCLEO DEL CONOCIMIENTO DIARIO Y CIENTÍFICO: ¿CIENCIA FÍSICO-MATEMÁTICA “DURA” CON BASES “ARTÍSTICAS” BLANDAS?	44
I. CONSTRUCCIÓN DE UN KIT DE HERRAMIENTAS	45
II. METÁFORAS VIVAS Y MUERTAS EN LA VIDA DIARIA: EJEMPLOS	46
III. METÁFORAS VIVAS Y MUERTAS EN CIENCIA: EJEMPLOS	56
IV. ECONOMÍA-SIMPLICIDAD-SIMETRÍA-BELLEZA	80
V. REFLEXIÓN SOBRE LOS EJEMPLOS ¿QUÉ ES METAFORIZAR?	81
VI. LOS ESQUEMAS HÍBRIDOS PUENTE TEORÍA-EMPIRIA	86
VII. EL POSITIVISMO DESCASCARADO	101
VIII. DOS ESQUEMAS A MODO DE SÍNTESIS	120
APOSTILLAS SOBRE EL MODO HUMANO DE CONOCER, SU LÓGICA “ILÓGICA” Y LO EXPERIMENTADO COMO VERDADERO	123
IX. APOSTILLAS SOBRE EL PROCESO REAL DE CONOCIMIENTO	124

X. APOSTILLAS SOBRE LO EXPERIMENTADO COMO VERDAD.....	148
XI. APOSTILLA SOBRE LA LÓGICA “ILÓGICA” QUE USAMOS	162
METÁFORAS GALILEANAS Y BACONIANAS: EL UNIVERSO ES UN LIBRO ESCRITO EN LENGUA MATEMÁTICA AL QUE HAY QUE LEER COMO LA ABEJA.CRÍTICA DESDE UN MODELO METAFÓRICO DE LECTURA DE LA EMPIRIA.....	165
XII. ¿EL UNIVERSO ESTÁ ESCRITO EN LENGUA MATEMÁTICA?	166
XIII. METÁFORAS SOBRE “LA BUENA LECTURA” DE TAL LIBRO.....	187
LA LEY DE ATRACCIÓN UNIVERSAL Y SU BASE EN EL SISTEMA DE METÁFORAS DE NEWTON CENTRADO EN LAS DE “LA BOLEADORA” Y “LA DILUCIÓN”.....	196
XIV. LA TEORÍA METAFÓRICA DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL.....	197
XV. NÚCLEO METAFÓRICO PRINCIPAL DE “PRINCIPIA”	208
XVI. EL MANEJO NEWTONIANO DE SUS ELEMENTOS	221
XVII. RESULTADO: PERFECCIÓN GEOMÉTRICA EN EL CIELO.....	223
MATEMATIZACIÓN DE LAS METÁFORAS CENTRALES QUE GUÍAN A NEWTON Y PRUEBAS EMPÍRICAS SOBRE SU MODELO MATEMÁTICO	228
XVIII. REVESTIMIENTO MATEMÁTICO Y PRUEBAS EMPÍRICAS	229
XIX. LA LEY DE GRAVITACIÓN EN LOS TEXTOS DE CIENCIA.....	249
LA METÁFORA COMO INTELIGENCIA NATURAL CIENTÍFICA Y SU REVESTIMIENTO MATEMÁTICO DESDE EL S XVIII HASTA LA SÍNTESIS ELECTROMAGNÉTICA DE MAXWELL.....	252
XX. CAMINO METAFÓRICO A LA LEY DE COULOMB.....	253
XXI. METÁFORAS DE THOMSON, FOURIER Y OHM	270
XXII. METÁFORAS DE FARADAY Y MAXWELL.....	273
XXIII. CONCLUSIÓN SOBRE LAS METÁFORAS FUNDACIONALES	299
XXIV. PRESENTACIÓN DE LOS LIBROS PARA ESTUDIANTES.....	300

REFLEXIONES EPISTEMOLÓGICAS E INTERDISCIPLINARIAS SOBRE
LA CIENCIA MODERNA: METÁFORA, REALIDAD, MATEMÁTICA Y
METAFÍSICA..... 314

XXV. EMBRETE MATEMÁTICO VÍA METAFÓRICA..... 315

XXVI. RELACIÓN MATEMÁTICA-FÍSICA 332

XXVII. REALIDAD Y MODELOS MATEMÁTICOS 355

XXVIII. INFLUENCIA DE LA HISTORIA EXTERNA..... 358

XXIX. LA DIVISIÓN ARTIFICIAL ENTRE TEORÍA Y EMPÍRIA 363

XXX. EL LÍMITE ENTRE LA FÍSICA Y LA METAFÍSICA 367

XXXI. ASPECTO EDUCATIVO DE LA INTERTEXTUALIDAD..... 371

LA DIMENSIÓN ARTÍSTICO-METAFÓRICA DE LA PRODUCCIÓN
CIENTÍFICA CONTEMPORÁNEA: SENTIR LA BELLEZA COMO VERDAD
Y REALIZAR PREDICCIONES ESTÉTICAS380

XXXII. VUELTA A LO CLÁSICO: SENTIR LA BELLEZA COMO VERDAD..... 381

XXXIII. LA PREDICCIÓN ESTÉTICA DE LO VERDADERO386

XXXIV. SIMETRÍA ARTÍSTICA Y NACIMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE.....404

XXXV. LA TRAICIÓN DE LAS METÁFORAS.....423

XXXVI. LIBROS PARA ESTUDIANTES: LAS CARTAS SOBRE LA MESA.....430

REFLEXIONES INTERDISCIPLINARIAS SOBRE LA “AMBIGÜEDAD
ARTÍSTICA” INTRODUCIDA POR LAS METÁFORAS EN EL MUNDO
MICROFÍSICO: NUEVO CONCEPTO DE LEYES NATURALES 435

XXXVII. ¿INCERTIDUMBRE O “AMBIGÜEDAD ARTÍSTICA”?436

XXXVIII. LA METÁFORA DE LA FUSIÓN: CONSECUENCIAS448

XXXIX. ASPECTO EDUCATIVO DE LA FUSIÓN450

XL. MÁS ALLÁ DE LA DUALIDAD ONDA-PARTÍCULA EN EL SXXI..... 451

EL VACÍO HERMENÉUTICO PRODUCIDO POR LOS HECHOS
PROBLEMÁTICOS A LOS QUE SE ENFRENTA LA CIENCIA Y SU
CUBRIMIENTO EXITOSO POR LA INTELIGENCIA APORTADA POR LA
METÁFORA..... 458

XLI. TESTIMONIOS RELATIVOS AL “VACÍO HERMENÉUTICO”..... 459

XLII. EL CUBRIMIENTO EXITOSO DEL VACÍO PREÑADO476

MARCO METAFÍSICO DE LA CIENCIA CONTEMPORÁNEA: LA METÁFORA PLATÓNICA DEL ARTESANO LEÍDA POR HEISENBERG Y LA RELACIÓN MATEMÁTICA-MATERIA.....	491
XLIII. LA METÁFORA DEL ARTESANO DIVINO	492
LAS METÁFORAS DEL DIOS CONSTRUCTOR DE MÁQUINAS Y DE LA EMANACIÓN: DOS MATEMÁTICAS Y LA REVISIÓN DE LA RELACIÓN MATERIA-ESPACIO-TIEMPO.....	510
XLIV. LA VERSIÓN MODERNA DE LA METÁFORA DEL ARTESANO.....	511
XLV. METÁFORA DE LA EMANACIÓN Y DOS MATEMÁTICAS.....	518
XLVI. RELACIÓN MATERIA-ESPACIO-TIEMPO	527
XLVII. LA FÍSICA NO ES REDUCIBLE A MATEMÁTICA.....	536
XLVIII. SÍNTESIS METÁFORAS RELACIÓN MATEMÁTICA-UNIVERSO.....	544
LA LÓGICA DE LA CIENCIA ES LA DE LA METÁFORA O “SILOGISMO DE LA HIERBA”: UNA TEORÍA MATEMÁTICO-RELACIONAL DE FORMACIÓN DE CONCEPTOS.....	545
XLIX. PLÉROMA Y CREATURA.....	546
L. EL SILOGISMO DE LA HIERBA: AUTÉNTICO PROCESO MENTAL.....	548
LI. SILOGISMO DE LA HIERBA Y ABDUCCIÓN	553
LII. VERSIÓN SEMIÓTICA DE LA ABDUCCIÓN.....	555
LIII. ABSTRACCIÓN FUNCIONALIZANTE VS. SUSTANCIALIZANTE	559
MODELO DE REVESTIMIENTO MATEMÁTICO DE LA METÁFORA DE BASE.....	562
LIV. RELACIÓN METÁFORA Y MATEMÁTICA	563
LV. VESTIMENTO METAFÓRICO Y REVESTIMIENTO MATEMÁTICO	573
CONCLUSIONES: PROMESAS CUMPLIDAS, ANUDANDO LO QUE FALTA Y APOSTILLAS FINALES	576
SINOPSIS DE LO PROMETIDO Y LO REALIZADO	577
ANUDANDO LO QUE FALTA Y APOSTILLAS FINALES.....	585
POST SCRIPTUM: TRANSFORMACIONES.....	613

BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	615
ANEXOS	643
ANEXO 1: METÁFORAS INTERPRETATIVAS DEL MOVIMIENTO	644
ANEXO 2: METÁFORAS IMPLICADAS EN LAS 3 LEYES DEL MOVIMIENTO NEWTONIANAS....	652
ANEXO 3: REVESTIMIENTO MATEMÁTICO DE LA METÁFORA NEWTONIANA DE LA BOLEADORA.....	662
ANEXO 4: LEIBNIZ, BOŠKOVIĆ Y FARADAY: EL PASO DE LAS PARTÍCULAS FÍSICO-MATE- RIALES NEWTONIANAS A LOS PUNTOS METAFÍSICOS INMATERIALES	683
ANEXO 5: REVESTIMIENTO MATEMÁTICO DE LA METÁFORA HÍDRICA POR PARTE DE MAXWELL.....	690
ANEXO 6: VISUALIZACIÓN Y MATEMATIZACIÓN PARCIAL DEL PRINCIPIO DE INCERTI- DUMBRE	700
ANEXO 7: INTELIGENCIA ARTIFICIAL O COMPRENSIÓN Y CREACIÓN SIMULADA MATEMÁ- TICAMENTE	704
ÍNDICE DE ESQUEMAS Y FIGURAS.....	735

INTRODUCCIÓN: EXPERIENCIAS SOBRE UN PROCESO DE INTELIGENCIA NATURAL Y PROMESAS DE INICIO DE CAMINO

Todos los que investigan juzgan proporcionalmente lo incierto en la comparación con un presupuesto cierto [...] Por lo tanto, toda investigación consiste en la proporción comparativa.

Nicolás de Cusa, “Acerca de la Docta Ignorancia”

METÁFORAS USADAS POR MI PROFESOR

El origen de mi interés por la metáfora ha sido la reelaboración de una experiencia vivida como estudiante de Ingeniería. En esta experiencia, un científico de renombre¹ tenía la habilidad de llevarnos a la comprensión de fenómenos muy abstractos,² a través de imágenes y esquemas muy simples *traídos desde* la vida de todos los días. Estas “comparaciones” que en principio parecían no tener “nada que ver” con el fenómeno a estudiar, comenzaban a manifestar cierto parentesco o semejanza con el fenómeno.

Aparecía una especie de “visión de dos en uno” (Magnasco, 2019): lo familiar y lo abstracto se aunaban en una fructífera tensión e interacción que motorizaba el pensamiento. Este “parentesco” entre los dos ámbitos o dominios aunados en esa visión, lejos de alejarnos del riguroso saber académico, eran un acicate para avanzar y profundizar activa y significativamente en el meollo del fenómeno estudiado.

§. *El entusiasmo del conocer lo abstracto desde lo palpable*

El lograr una inteligencia desde el conocimiento familiar, nos entusiasmaba e implicaba, nos ponía en el camino de la investigación, nos acercaba palpablemente al fenómeno, nos llevaba a hacernos preguntas y a plantear situaciones surgidas desde la misma imagen

1. Me refiero al ingeniero argentino Mario Bíncora, investigador del *Berkeley Radiation Laboratory*. Tuvo trato con Albert Einstein, con quien tomó una taza de té el 28 de diciembre de 1944, en el propio domicilio del científico. Desempeñó un papel protagónico en la formación del Instituto Balseiro y en la dirección de Investigaciones Básicas de la CNEA. Recibió el Premio Internacional *Elise and Walter A. Haas* de la Universidad de California por sus aportes a la Argentina.

2. Temas de la Cátedra *Física Electrónica*, 3er. año de Ingeniería, UNR.

metafórica. Nos invitaba —en fin— a “amigarnos” con lo “abstracto y difícil” de los modelos matemáticos, en un interesante diálogo entre el dominio “fuente” familiar (de donde provenían las imágenes y esquemas) y el dominio “meta” abstracto (sobre el que tales familiaridades lograban inteligencia y comprensión).

§. *¿Por qué funciona este modo de conocer?*

Con el paso de los años y el tránsito académico por las ciencias de la interpretación,³ volví a “releer” aquella experiencia y a preguntarme en sentido epistemológico: ¿Por qué razón las imágenes y esquemas *provenientes de la vida diaria* se muestran *útiles y eficaces* para *inteligir* o *explicar* o *comunicar* realidades abstractas en ámbitos científicos? Este “*provenir de*” marca el traslado (en griego: *metaféro*) producido sobre esas imágenes y esquemas desde lo familiar hacia lo que se intenta *inteligir*.

Notemos que la operación que permite “ver” una cosa abstracta desde otra familiar —estableciendo como resultado una comparación o analogía— es crear una metáfora. En este especial traslado opera una *tensión fecunda*; hablo de *tensión* porque se fuerza una puesta en relación de dos cosas que no la tenían y la califico de *fecunda* pues permite “ver” (con la inteligencia o empezar a comprender) una cosa desconocida desde otra conocida.

Lo más interesante es que esa imagen o esquema familiar lejos de ser algo a descartar lo antes posible —como una muleta provisoria

3. Luego de obtener el título de ingeniero (UNR) cursé estudios de grado en el bachillerato de Filosofía y Teología y de posgrado en torno a la interpretación de textos sagrados antiguos (UCA). Allí profundicé estudios en Hermenéutica y Poética que me decantaron en la línea interpretativa de Heidegger-Gadamer-Ricoeur. En el ámbito de la semiótica, he hurgado durante años en los *Collected Papers* de Ch. S. Peirce (publicados por el Grupo de Estudios Peirceanos de la Universidad de Navarra), cuyo signo triádico ha sido propicio a nuestra investigación sobre los procesos de semiosis (es decir, producción de sentido y de construcción de la realidad).

(y algo avergonzante)—, resultaba exitosa en tanto constituía el núcleo (no-descartable) de la teoría que lograba describir científicamente la realidad.

Al mismo tiempo me hacía consciente de que tal mecanismo metafórico opera con frecuencia en la vida cotidiana: cuando algo se nos presenta como “impalpable”, difícil de asir conceptualmente o de expresar, es un recurso común buscar entenderlo, experimentarlo o expresarlo a través de lo conocido o palpable. Tal operación queda reflejada en el lenguaje coloquial: “(esto) es *similar a* (aquello)” o “(esto) es *una especie de* (esto otro)”, es decir, aparece una mirada y un sentir que conectan dos ámbitos distintos, llevando o trasladando una imagen o esquema conocido o “familiar” hacia un ámbito “extranjero” en donde se quiere aportar una inteligibilidad.

UN PROCESO DE INTELIGENCIA NATURAL

De este modo, advertí que tanto en el ámbito científico, como en el de la vida diaria y también en el artístico, operaba cognoscitivamente la metáfora. Lejos de ser una traducción embellecedora o meramente estética, la metáfora es un proceso de inteligencia natural (y por tanto general) de asimilación y transformación de nuestra vida y de la realidad.

Hablo de inteligencia *natural*, refiriéndome a una inteligencia propia de la naturaleza humana, para confrontarla y distinguirla de la inteligencia *artificial* (que es una herramienta poderosa en manos de la anterior). Y agrego que la metáfora transforma nuestra vida —a la par de la realidad—, porque el mecanismo nos implica activamente de modo creador y significativo: la racionalidad deja de ser algo ajeno al investigador (reflejo del método positivista de separación de la subjetividad) para pasar a ser algo “razonable” (reflejo del modo metafórico de implicación significativa de la subjetividad), algo que tiene que ver sustancialmente con lo humano

y con nuestra vida (cf. *infra*: *Lógico vs. razonable o lógica menor vs. lógica mayor* en Capítulo 2).

En tal inteligencia funciona la *lógica mayor* que es la *lógica* como estudio del *proceso* de desarrollo del conocimiento, y que en nuestro estudio tiene a la metáfora como vehículo principal en el camino hacia el conocimiento y ampliación del horizonte conceptual. Tal *lógica mayor* se distingue de la *lógica menor* que es la *lógica* como ciencia que estudia las leyes que rigen las inferencias racionales desde el punto de vista de su validez formal.⁴

§. *El proceso real y metafórico de todo conocimiento*

Ningún científico piensa con fórmulas. Antes que el físico comience a calcular debe tener en su cerebro el curso de los razonamientos. Estos últimos, en la mayoría de los casos, pueden ser expuestos con palabras sencillas. Los cálculos y las fórmulas constituyen el paso siguiente.
A. Einstein⁵

Conocer desde esquemas familiares

En la cita atribuida a Albert Einstein, se sostiene que la mayoría de las veces es posible expresar razonamientos científicos *con palabras sencillas* y que *los cálculos y las fórmulas constituyen el paso siguiente*. Nuestra postura y el resultado de este libro, manifiesta que esas

4. Aunque normalmente se lo desconoce, dentro de esta *lógica menor* no está ausente el proceso de la metáfora sino que —aunque escondida— participa medularmente en un razonamiento frecuentemente olvidado —como veremos— que es el abductivo (usualmente se lo desconsidera en el estudio de la *lógica*). Sobre tal influencia de la metáfora en *lógica*, ver para más detalles Magnasco, 2024, Capítulo 2: *La metáfora escondida en la lógica*.

5. Citado por Martínez Torregrosa & Sifredo (2005, p. 105).

“palabras sencillas” son fruto de operaciones metafóricas⁶ que implican conocer lo nuevo o lo más abstracto desde el terreno de lo conocido o lo más familiar. Tales operaciones metafóricas consisten en el traslado (*metaféro*, Pabón, 2001, p. 391) de esquemas familiares sobre la situación que se desea comprender, y que se reflejan en el lenguaje pues nos llevan a decir “esto es como...”, “esto es una especie de...” o “esto funciona como *aquello otro*”.

Así se produce una situación paradójica pues, por un lado, comienza a producirse una inteligencia fructífera que nos permite delinear los contornos de lo que hasta hace un momento era desconocido y, por otro, se produce una impertinencia —experimentada como *tensión*— debido a que esos esquemas pertenecen a un ámbito ajeno o extranjero respecto de los fenómenos que se desean interpretar (coloquialmente decimos: “no tienen nada que ver”).

Órganos de asimilación: cantera de esquemas exitosos

Los esquemas recién referidos, tienen la entidad de imágenes, acciones, funcionamientos familiares y anidan en nuestra *praxis*, en una “cantera de analogías” (Samaja, 2004, p. 138) que han tenido

6. El valor cognoscitivo de la metáfora es avalado por varios estudiosos —entre los que se cuentan filósofos, lingüistas, novelistas, matemáticos y científicos— que han enfocado esta dimensión del *tropo* desde distintas perspectivas y con diferentes alcances, entre ellos Giambattista Vico (1668-1744), Max Müller (1823-1900), Charles Peirce (1839-1914), Marcel Proust (1871-1927), Ernst Cassirer (1874-1945), José Ortega y Gasset (1883-1955), Martin Heidegger (1889-1976), Hans Gadamer (1900-2002), Max Black (1909-1988), Paul Ricœur (1913-2005), Walker Percy (1916-1990), Paul de Man (1919-1983), Thomas Kuhn (1922-1996), Stephen Toulmin (1922-2009), Mary Hesse (1924-2016), Theodore Brown (1928-), George Lakoff (1941-), Mark Johnson (1945-) (cf. para una visión de conjunto Oliveras, 2007, p. 183-200; también en su aspecto transdisciplinar: De Bustos, 2000). Esta postura es de suma actualidad: “Uno de los rasgos sobresaliente de la moderna metaforología es, precisamente, su insistencia en la relación entre metáfora e investigación científica y, en general, entre metáfora y conocimiento” (Oliveras, 2007, p. 186).

éxito y que se constituyen en una especie de reservorio de instrumentos o de órganos que permiten asimilar cognoscitivamente la realidad. Veremos que estos esquemas no son ni puramente teóricos, ni puramente empíricos,⁷ sino que son híbridos que permiten establecer un puente entre empiria y teoría (lo cual establece un puente entre lo mental y lo cerebral y cierra la grieta entre la *res cogitans* y la *res extensa* del dualismo cartesiano).

La imagen metafórica obtenida permite comprender —al menos inicialmente— qué es o cómo funciona lo nuevo o lo más abstracto siendo que los “cálculos y fórmulas” —que implican a los modelos matemáticos— son un “revestimiento” posterior de la metáfora mencionada.

Vívidas metáforas y póstumos modelos matemáticos

Podríamos decir que esos razonamientos “en palabras sencillas” involucran conceptos que todavía no han sido “revestidos” en el lenguaje matemático de los modelos. Parece haber al menos dos fases que dialogan: la de las *palabras sencillas* que involucran la imagen metafórica y la posterior, la del *modelo lógico matemático*. Lo sustancial es que la segunda —el revestimiento matemático más abstracto— lo es de algo anterior que —entendemos— es el concepto más visible y la base de la construcción o del “ascenso de la cuesta abstracta” (Bruner, 2004, p. 58) hacia el “saber sabio” (expresión de Chevallard, 1985) o conocimiento científico.

Hemos titulado este libro haciendo referencia a una oportunidad de la recuperación de la metáfora en la docencia, ya que —desde la experiencia vivida— comprendí que los conceptos para ser asimilados deben *encarnarse*, es decir, deben de algún

7. Respecto de los términos teórico/empírico, aclara Samaja: “La oposición de los términos “teoría/empiria” [...] refiere a los conceptos y proposiciones universales, por oposición a hechos o situaciones de hecho [que son particulares]” (Samaja, 2004, p. 29 nota 11, aclaración entre corchetes propia: H.M.).

modo hacerse *visibles* o ser *sentidos* o bien ser *experimentados* como verosímiles, para así anidar en la inteligencia o ser inteligentes. Así resultarán verdaderamente *conceptos*, esto es, *concebidos*⁸ endógenamente, *construidos* con materiales interiores en la mente del estudiante. Tales materiales interiores involucran imágenes, funcionamientos, acciones interiorizadas desde terrenos conocidos.

Los “conceptos” que quedan “en el aire”, o que no tienen raíces que conectan con el *suelo de la vida* del aprendiz “se los llevará el viento” (porque no serán “de peso” para el alumno o interesantes). Este proceso requiere huir de un operativismo abstracto, que concommita con la carencia de significado, la atomización y que no contribuye a un aprendizaje significativo. Es necesario, en cambio, crear las condiciones para motorizar el *pensamiento*. Y en este sentido entendemos que la metáfora es esa *encarnación sensible del concepto* que expresado inicialmente en *palabras* —*metafóricas*— *sencillas* permite ascender posteriormente a una formulación matemática que es su revestimiento formal —como veremos—.

¿CÓMO SURGEN LAS IDEAS EN LA CIENCIA?

Todas las intuiciones⁹ manifestadas a modo de “sentencias” en este inicio de recorrido que le estoy proponiendo al lector / lectora, me llevaron a preguntar ¿cómo surgen las ideas en la ciencia? (o lo que es lo mismo ¿cómo surge una hipótesis o conjetura?) y a tratar de responder con una investigación.

Claro es que la búsqueda de una respuesta a este interrogante no partió de cero: intuíamos —o más bien habíamos abducido— (cf.

8. Concebir: “Formar idea, hacer concepto de algo” (DRAE).

9. Una investigación guiada por ¿intuiciones? Lo qué significa en el ámbito de nuestra investigación la “intuición”, lo podremos precisar al final del recorrido, adelantamos que no es algo irracional, donde no media razonamiento sino algo fundamental que tiene relación sustantiva con el razonamiento abductivo y la creatividad de la metáfora.

infra: Apostilla 1: Conocer es abducir en el Capítulo 2 y *El instinto peirceano de adivinación* en el Capítulo 10) una incidencia sustantiva de la metáfora en la construcción del conocimiento científico, aun en ciencias duras e Ingeniería donde personalmente la había experimentado.

Nos resultaba interesante justificar epistemológicamente la presencia de la metáfora en la ciencia calificada de “dura” porque la idea que heredamos sobre la misma, concommita normalmente con un lenguaje lógico-matemático que la presenta como refractaria a un lenguaje “blando” o ambiguo.

Así, el problema general que abordamos en aquella investigación fue la incidencia de la metáfora en la construcción del conocimiento científico en ciencias duras e Ingeniería, su pertinencia epistemológica y la oportunidad que esto abre a la docencia. Expresado este problema como pregunta: ¿Cómo surgen las ideas o los modelos que hacen avanzar la ciencia dura?

§. *Nuestra conjetura*

Nuestra respuesta hipotética al interrogante recién planteado, que luego pudimos sostener epistémicamente y afirmar como tesis fue que los modelos que hacen avanzar la ciencia dura se basan en procesos metafóricos sustentados en conocimientos que provienen de la vida cotidiana, en tanto son —dichos modelos— continuidad de estos mismos mecanismos metafóricos.¹⁰

10. El alma de esos modelos es un primer traslado metafórico que otorga una primera inteligencia o visualización —desde lo que ya se conoce— a esos “hechos intrigantes” que piden explicación (y que generan por ello una especie de “vacío” de interpretación o hermenéutico). Pero esta constitución del modelo en tanto matemático requiere que en un segundo momento el mecanismo metafórico siga operando y posibilite el “revestimiento matemático” de la metáfora de base. Por eso aclaramos que los modelos se basan en el mecanismo metafórico en tanto son continuidad de esos mismos mecanismos metafóricos. Esta hipótesis fue lo que suele llamarse la *hipótesis sustantiva* de nuestra investigación.

Es pertinente decir que esta hipótesis subsumía un interrogante anterior que ya referimos: ¿por qué razón las imágenes y esquemas provenientes de la vida diaria se muestran útiles y eficaces para entender o explicar o comunicar realidades abstractas en ámbitos científicos? Y este último interrogante entrañaba una pregunta en sentido lógico: ¿Por qué la violación de un orden lógico —que lo metafórico produce— genera conocimiento?

§. Una conjetura no aislada

Dice el prestigioso profesor Dr. Juan Samaja que el surgimiento de la hipótesis se encuentra en la intersección de los hechos problemáticos (en nuestro caso ¿cómo surgen las ideas en ciencia? y los interrogantes asociados recién mencionados) con las teorías preexistentes o conocimientos bien establecidos (cf. Samaja, 2004, p. 233), por lo que la conjetura o hipótesis no es un fenómeno “aislado” (o “irracional”):

En consecuencia, las respuestas o hipótesis que se examinan en este momento, no deben ser exploradas sólo por referencia a los hechos circunscriptos por el problema, sino que se debe poder establecer su compatibilidad o coherencia lógica con el resto de los conocimientos considerados como *bien establecidos*. [...] En efecto, el conocimiento científico no sólo se rige por normas de *coherencia local* (por referencia a los hechos circunscriptos del problema) sino que se rige por normas lógicas de *coherencia total*, en el sentido de que ninguna de las consecuencias que se puedan deducir lógicamente de los términos y juicios que con- tenga una respuesta, deberán contradecir a otros conocimientos (teóricos o de hecho) que hayan sido aceptados previamente. (Samaja, 2004, p. 234)

Esta compatibilidad lógica de la hipótesis con un “resto de conocimientos considerados como bien establecidos” o “coherencia total”

es lo que nos llevó a tender naturalmente relaciones en nuestra investigación con otros campos científicos, especialmente con la lingüística, la hermenéutica, la semiótica, la filosofía del arte, la lógica... lo cual nos introducía en una respuesta de tipo interdisciplinario y en la necesidad de apoyar nuestras interpretaciones y afirmaciones en numerosos especialistas (esto ha abultado la Bibliografía que da cita a epistemólogos, filósofos, literatos, matemáticos, historiadores, poetas, escritores, físicos, cosmólogos, teólogos, arqueólogos y semiólogos... Muchas de las obras citadas son clásicas, entendemos que más importante que la fecha de edición lo es la sustancia del contenido).

Teniendo en cuenta lo dicho por Samaja en la cita recién referida, nosotros formulamos una conjetura adicional que tenía que ver con la “coherencia total” que la hipótesis establece con otros ámbitos del conocimiento bien establecido. Esta conjetura se basa en varios estudios que abonan un origen metafórico para el lenguaje natural, desde los de G. Vico (cf. Vico, 1950, p. 51-52) hasta los de Lakoff & Johnson (2007) pasando por las reflexiones de W. Percy (1958, 1989) y J. Ortega y Gasset (1985 [1925] y 1965). Nuestra *conjetura de coherencia* con otros conocimientos bien establecidos rezó que la construcción y producción del conocimiento se realiza en forma exitosa a través del mecanismo metafórico en el ámbito científico porque dicho mecanismo funciona en la construcción y producción exitosa del lenguaje natural (aquí subyace la analogía o construcción del conocimiento por analogía y se introduce el problema del lenguaje de la ciencia, ya que las construcciones y producciones científicas se “dicen” inicialmente metafóricamente). Es decir, en el lenguaje natural y en el lenguaje de la ciencia funciona el mismo mecanismo básico.

PROMESAS DE INICIO DE CAMINO

Basados en la investigación mencionada, en este libro propon-dremos un recorrido en orden a manifestar:

- a) la pertinencia de la metáfora en el cubrimiento del “vacío hermenéutico”, es decir como mecanismo de inteligencia natural, creación y comunicación frente a fenómenos a primera vista desconcertantes, en tanto que no se enlazan con lo conocido en determinado campo de conocimiento y que en consecuencia producen en el espíritu un inicial “vacío” de interpretación;
- b) que la metáfora es un mecanismo epistémicamente fundamentado de inteligencia natural, de creación y de comunicación en ciencias duras;
- c) que los modelos que hacen avanzar la ciencia se basan en metáforas (lo cual abre una oportunidad a la docencia para su recupero pedagógico-didáctico).
- d) que en el llamado “contexto de descubrimiento” (cf. *infra*: *El interesante y olvidado contexto de descubrimiento* de esta Introducción) funciona la lógica de la metáfora o “silogismo de la hierba”;
- e) que hay pertinencia empírica en la metáfora como descriptiva de lo real, es decir, que no es una mera explicación inicial ilustrativa a descartar sino que tiene que ver con lo empírico;
- f) que el “revestimiento teórico” de la metáfora es posible, es decir, que ella es un “vestimento” (del vacío hermenéutico) al que es posible “revestir” matemáticamente en un modelo, como de hecho sucede en las obras basales de la ciencia moderna;
- g) que el mecanismo metafórico de conocimiento abre algunas oportunidades en la docencia.
- h) que nuestro recorrido brindará una visión de la inteligencia (humana) que la distinguirá sustantivamente respecto de la Inteligencia Artificial en su estado actual (fines del año 2025).

§. *¡A rastrear el proceso metafórico y la matemática que lo sepulta!*

En nuestra investigación hemos rastreado en los escritos de los mismos científicos la presencia de estas metáforas y hemos indagado en el proceso de su revestimiento matemático. Sobre todo, hemos fundamentado epistemológicamente la realidad y validez de esta construcción que desde imágenes provenientes de la vida familiar arriba a formulaciones abstractas.

Destacamos desde los resultados obtenidos que el recupero de estas metáforas expresadas en palabras sencillas no traicionan el saber académico al que la docencia universitaria o del ciclo superior debe aspirar. Justamente su recupero intenta ofrecer una oportunidad a la docencia al allanar el camino para la trasposición didáctica del “saber sabio” al “saber enseñado” (Chevallard, 1985). Por su naturaleza, este recupero tiene la oportunidad de conectar con los saberes más familiares y sencillos, permitiendo implicar al alumno en una construcción con significado.

SOBRE ESTE LIBRO Y SUS LECTORES

§. *Una investigación traducida a un lenguaje “amable”*

En este libro, estimado lector / lectora, expongo en un lenguaje y estructura más amables lo referido a la investigación mencionada, que formó parte de una tesis de Maestría en Docencia Universitaria.¹¹ En ella observé la participación *sine qua non* de la metáfora

11. Magnasco, Humberto. (2019). “*Bases epistémicas del surgimiento de la metáfora, como mecanismo de inteligencia, creación y comunicación en ciencias duras e ingeniería. Incidencia en la Docencia Universitaria*”. Directora: Dra. Emilas Lebus; Co-director: Dr. Jorge Noro. Esta tesis fue defendida en septiembre del año 2019 en el Salón Azul de la Facultad Regional San Nicolás de la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina).

en el núcleo de las producciones basales de la ciencia moderna y contemporánea. El acento del libro está puesto en el *proceso* de la metáfora en tanto estrategia de inteligencia y comunicación utilizada por los científicos (y que todos utilizamos en nuestra vida diaria) y no en los *resultados* matemáticos que resultan abstrusos a la mayoría. Por ello, el libro está dirigido a lectores interesados en este proceso natural de inteligencia a través de la metáfora en ciencia. No se requieren conocimientos físicos, ni matemáticos, ni filosóficos especiales. Este es el lector o la lectora que imagino, y que Umberto Eco llama *lector(o lectora) modelo* en tanto debe cooperar con el autor “en la actualización textual [...] y de moverse interpretativamente, igual que él [el autor] se ha movido generativamente” (Eco, 1993, p. 80). Si bien hay física, filosofía y algo de matemática, hemos generado el texto aclarando —mediante la metáfora misma y con un lenguaje que esperamos resulte amable— los términos técnicos que pueden resultar oscuros.

Decidimos publicar en dos volúmenes de lectura independiente: el presente dedicado al surgimiento de la metáfora en la creación científica y otro sobre la metáfora como proceso creativo ubicuo (Magnasco, 2024). Respecto del actual volumen (atendiendo a los lectores modelo) hemos decidido trasladar algunos desarrollos matemáticos, físicos y filosóficos a un sector de *Anexos* de lectura optativa para facilitar la continuidad de la lectura en general (de modo que no se requieran como presupuestos de lectura herramientas matemáticas o conocimientos físicos superiores).

Creemos que la filosofía que enmarca a la metáfora, el proceso creativo (mediante un razonamiento clásico llamado abducción) que la lleva como “actriz principal” y el revestimiento matemático de la misma que culmina en los modelos de la ciencia, es un camino de lógica *mayor* y de inteligencia *natural* que hace más humano y amable al resultado logrado. Si sólo se expone el resultado sin el proceso convertimos a la ciencia en algo “abstruso”, es decir, algo recóndito, de difícil comprensión e inteligencia.

Por una costumbre que imposta el proceso real de la ciencia, la metáfora que ayuda a subir la “cuesta abstracta” hasta el saber sabio, es arrojada luego por la ladera como dice metafóricamente Jerome Bruner.

OPORTUNIDAD EN LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA

*La Ciencia es [...] tan fantástica y exigente
como los cuentos de héroes y dioses [...] debería
ser enseñada de manera tal que se transmita [...]
ese espíritu a la mente del joven.*

Max Born (citado por Maiztegui & Sábato, 1974)

§. *El interesante y olvidado contexto de descubrimiento*

Validando epistemológicamente dicho mecanismo metafórico estaríamos trazando “un puente” para incorporar dentro de la actividad *propriadamente científica* al denominado “contexto de descubrimiento” (o —mejor— contexto de creación) que es el lugar donde surgen las grandes ideas y que fuera excluido desde Reichembach como “no científico” por su tinte subjetivo y —supuestamente— “irracional” (cf. *infra*: *¿Irrracionalidad de las hipótesis?* en el Capítulo 1). Para el ámbito de la enseñanza-aprendizaje son relevantes las consecuencias de tal incorporación porque si en la producción del conocimiento científico hay “escondidas” una lógica y una racionalidad que hacen pie en la metáfora¹² y que terminan validándose en la funcionalidad del modelo lógico-matemático producido (que “hace pie” en ella, cf. *infra*: Esquema N° 6 del Capítulo 1) es pertinente su recuperación —sin culpas—¹³ por parte de la docencia como

12. Considerada —hasta ahora— caprichosa, ambigua, sin fundamento, ilógica e irracional, lenguaje no científico desde las epistemologías positivistas.

13. La “culpa” puede producirse al considerar los “esquemas”, “imágenes” o comparaciones “ilustrativas” como algo propedéutico pero falso en el fondo, impropio

elemento de inteligibilidad¹⁴ junto con la concomitante situación problemática¹⁵ que la desencadenó.¹⁶

Si el docente adopta en consecuencia tal “enfoque problematizador” habilitando la actividad creativa-imaginativa (metafórica) del alumno, se estará invitando a éste a recorrer el camino del investigador y del científico desmitificando la ciencia como asunto de “gente excepcional” para incorporarlo al torrente creativo que es —por razones etimológicas— “propio” de la ingeniería y de cualquier actividad científica.

La imbricación mutuamente realimentadora de la investigación y la docencia, la participación activa —creativa y crítica— de los alumnos en grupos de investigación es la consecuencia práctica de no definir a la ciencia por un método...

§. *Reconstrucciones artificiales difíciles de “tragar”*

Si por el contrario el origen¹⁷ del conocimiento científico no interesa sino sólo su validación¹⁸, la reconstrucción artificial axiomática-deductiva del mismo será la consecuencia, ocultándose

para el nivel y que hay que descartar lo antes posible para conducirse hacia un lenguaje “más científico” que “no tiene nada que ver” con el primero.

14. Es decir, coherentizador y cohesionador de fenómenos en primera apariencia inconexos y misteriosos.

15. Según K. Popper la ciencia avanza a partir de *problemas* que desafían al investigador a proponer una hipótesis audaz (este epistemólogo insta a ser lo más audaz posible en la formulación de la hipótesis y lo más riguroso en el trabajo de tratar de falsarla, cf. Popper, 1991, p. 239 y 347).

16. Situación normalmente relegada al baúl de las “anécdotas” de la ciencia, es decir, situaciones fortuitas, esporádicas, que no serían analizables como parte de “lo científico”.

17. Como primera resultante del “contexto de descubrimiento”.

18. El “contexto de validación” de las posturas epistémicas positivistas o “contexto de refutación” del falsacionismo.

así su producción desde los avatares humanos generados desde situaciones problemáticas.

Este reordenamiento artificial secuencializa linealmente el conocimiento bajo la forma de razonamientos deductivos a partir de axiomatizaciones de origen “oscuro”, devaluándose el contexto histórico *en donde y desde donde* el conocimiento se forjó creativamente.

Piaget observa que en ciencia hay *un interés* por la axiomatización, y dice respecto de la actividad de los científicos en las ciencias de la naturaleza que esta se produce “como si el físico se esforzara, con sentimiento de culpabilidad, en esconder lo que se debe a la experimentación [empírica]¹⁹ y en hacer creer con una cierta hipocresía que todo lo ha deducido (1979, 125-126)” (citado por Samaja, 2004, p. 30, aclaración entre corchetes propia: H.M.).

Esta actitud a veces se traslada a la enseñanza que se resuelve en una transmisión de conocimientos o contenidos, prolijamente secuenciados y encastrados, donde no existe ningún “resquicio” para la creatividad o el ejercicio del ingenio. Esta postura puede conducir a la pasividad y tedio del alumno²⁰ que siente ajenas a esas construcciones o monumentos. Es deseable que la oportunidad de la metáfora (propia del estudiante o del científico o del docente) dé lugar a un intercambio dialéctico donde la comunicación oral y escrita no consista ya en “grabar y reproducir” sino en “construir y crear”.

19. No es redundante aclarar que Piaget se refiere a la experimentación “empírica”. La experimentación puede ser mental, conocemos —por ejemplo— “experimentos mentales” de Galileo Galilei (cf. *infra*: *La ley de inercia fruto de experimentos mentales* en Anexo 2) y de Albert Einstein (por ejemplo, el de imaginar qué pasaría al viajar montado en un rayo de luz, lo cual le sugirió que la velocidad de la luz debería ser una constante universal, cf. Einstein citado por Grünbaum, 1993, p. 121-122).

20. Aclaro que no significa “sin luz”. Proviene del latín *alumnus* y este del verbo *alere*: alimentar. Se entiende *alumno* como “el que es alimentado” o —mejor— “el que se alimenta”. La confusión proviene de mezclar el prefijo griego “a-” con el sustantivo latino *lumen* (luz). Esta composición de griego y latín es artificial y da lugar al malentendido.

§. *Reivindicación del proceso real del conocimiento*

Por otro lado, una reorganización artificial de los conocimientos elimina todo lo que tenga que ver con el proceso real de la ciencia, con la vida del científico, con sus búsquedas, con sus intuiciones, con sus pasiones y con las narraciones que cuentan o rescatan estos acontecimientos. El resultado es que la historia de la ciencia se vuelve sólo “historia interna”, relación interna ahistórica de los conceptos y de los nombres asociados “desde el bronce” a los mismos.

Recuperar las historias humanas, los problemas, las metáforas, los procesos dialécticos de construcción del conocimiento humanizaría y despertaría la idea de que cada alumno/alumna (*alumno= el que se alimenta*, cf. *supra*: nota al pie anterior) puede aportar activa y creativamente su originalidad.

Creemos importante atizar la imaginación en los estudios superiores, no sólo en Literatura o carreras propiamente artísticas sino también donde predominan las ciencias duras. Para tal recuperación es necesario “purificar” el concepto de “imagen” de sus lastres empiristas —la imagen como residuo diluido de una impresión— e irracionales —la imagen como producto de la “fantasía”—. Para tal purificación adherimos a la teoría general de la imaginación (que conecta con la metáfora) que propone P. Ricœur (cf. Ricœur, 2006, p. 197-218).

La recuperación de las historias en las que operan las imaginativas y creativas metáforas —originantes del conocimiento— serán un cambio en un enfoque un tanto rígido y artificial, allí donde el peso de lo lógico-matemático se *fagocita* a la dimensión imaginativa-artística-estética que forma parte del proceso de la ciencia.

Dice el físico y músico argentino Alberto Rojo que los grandes científicos han procedido y proceden como artistas en tanto atienden para la conformación de teorías a la búsqueda, predicción o postulación de

elementos que hacen pie en criterios estéticos de simetría y belleza (cf. Rojo en Bär, 2005). Veremos la conexión íntima entre conocimiento y belleza²¹ y los traslados metafóricos que anidan en lo que se experimenta como bello (cf. *infra*: Capítulo 8: *La dimensión artístico-metafórica de la producción científica contemporánea: sentir la belleza como verdad y realizar predicciones estéticas*).

§. *¡La mejor trasposición didáctica!*

La postura que desecha la imagen o metáfora como un recurso “poco científico” por su ambigüedad, normalmente cuestiona la “trasposición didáctica” (expresión de Chevallard²², 1985). Para esta postura el saber sabio es distinto del saber a enseñar y la traducción de un saber a otro la hace la trasposición didáctica. Esta trasposición didáctica puede traicionar el “saber sabio”

21. La metafísica tradicional conoce los “trascendentales” de todo ser: el ente es uno, bueno, verdadero y bello. Estos trascendentales tienen una realidad extramental. Es notable que la descripción científica —en caracteres matemáticos— presente al menos dos de las características trascendentales: las de lo verdadero y de lo bello.

22. Yves Chevallard es licenciado y educador en matemáticas, él define: “Un contenido de saber que se ha designado como saber a enseñar, sufre a partir de entonces un conjunto de transformaciones adaptativas que van a hacerlo apto para ocupar un lugar entre los objetos de enseñanza. El trabajo que transforma este objeto en un objeto de enseñanza, es denominado la *trasposición didáctica*.” (Chevallard, 1985, p. 45). “Según Yves Chevallard la trasposición didáctica puede ser entendida como el camino que conduce del saber científico al saber enseñado, refiriéndose al proceso de llevar el saber científico al aula de tal forma que se permita a los estudiantes conocer un saber supremo. [...] Tal transformación del objeto de conocimiento científico en objetos de conocimiento escolar requiere que el maestro seleccione el concepto académico y lo relacione, o adecue, a las posibilidades cognitivas de los alumnos [...] además, debe buscar la forma de garantizar la comprensión del conocimiento científico [...] La vigilancia epistemológica hace alusión al método de observación que desarrolla la didáctica constantemente, a fin de garantizar que se supere adecuadamente la distancia que existe entre el saber científico y el saber enseñado” (Mora Castiblanco, 2014, p. 98).

(expresión de Chevallard, 1985) al introducir simplificaciones desfigurantes... Pero si el saber sabio es fruto de una metáfora básica, es decir, es fruto de la subida abstracta que ayudó a *tregar* la metáfora, la recuperación de la misma será de modo natural la trasposición didáctica que ayudará nuevamente a subir esa cuesta abstracta hacia el saber sabio. Así la mejor “trasposición didáctica” puede ser justamente la recuperación de la imagen que permitiendo la subida abstracta ha dado origen al “saber sabio”. Este no es otra cosa que el producto del revestimiento canónico de la “infantil” imagen metafórica con un ropaje o lenguaje lógico-matemático “adulto” que la mayoría de las veces la traiciona (en cuanto que la simplifica).

§. *Un humilde lenguaje subjuntivo*

Junto con el anterior, otro aporte importante para la educación es la conexión entre el mecanismo metafórico, la narración y el empleo del “modo subjuntivo”²³ en ciencia. La característica del decir en el “modo subjuntivo” de enunciación es dar lugar al intercambio de las posibilidades humanas, al “quizás”, al “pareciera que”, al “probablemente”... cerrando el camino a las certidumbres establecidas o a un modo de decir donde todo es “seguro, definido y cerrado”, “blanco o negro” y no hay intermedios (cf. Bruner, 2004, Cap. X: “El lenguaje de la educación”). Tanto el modo subjuntivo del decir como el discurso narrativo que involucra los “avatares” humanos, compromete al interlocutor, al lector o al alumno en la producción de significados bajo la guía del texto o del discurso.

23. Los modos verbales son: “las diferentes posibilidades de expresar un significado según matices subjetivos o puntos de vista [...] En el [modo] indicativo el hablante ve la acción como algo objetivo, seguro y real [...] en el subjuntivo la ve como algo probable o irreal, y expresa la acción con duda, reserva o deseo” (Fuentes, 1997, p. 365, aclaración entre corchetes propia: H.M.).

§. Invitación a la transformación

El pararse en mundos “provisorios y dinámicos” debe permitir al alumno o al lector animarse a escribir su propio texto virtual. En este sentido Ricœur ha dicho que *interpretar* es “comprenderse delante del texto” (notar la dimensión de autointerpretación) (Ricœur, 2006, p. 116),²⁴ refigurarse y refigurar el propio mundo a partir del impacto estético del mundo del relato. Tal impacto es descrito por Ricœur como un proceso con tres dimensiones: prefiguración —*mímesis I*—, configuración —*mímesis II*—, refiguración —*mímesis III*— o círculo hermenéutico (cf. *infra*: *Apostilla 4: conocer es textualizar* en el Capítulo 2). En nuestro caso “el texto” o “relato” a interpretar es la realidad con sus fenómenos que nos desafían (interpretar un libro o la realidad conlleva los mismos elementos de inteligibilización o interpretación). La prefiguración conecta con saberes previos, la configuración conecta con el proceso metafórico de conjunción sintética de lo nuevo (dominio meta) y lo viejo (dominio fuente) y la refiguración conecta con el hecho de la construcción conjunta de sujeto y objeto (cf. *infra*: *Construcción conjunta de sujeto y objeto* en el Capítulo 3).

24. De algún modo la narración le propone al lector actuar la trama del texto en la propia existencia, le ofrece “convertirse” en otro. Hay una identificación... Al involucrarse en la trama, participa el lector en un horizonte de verdad que el texto le ofrece, entra en diálogo desde su propio horizonte, el texto cuestiona su autoconcepto, lo transforma y pretende ayudarlo a encontrar “una verdad más auténtica” para sí mismo, para el mundo, para “Dios” (más técnicamente — según Ricœur— hay un proceso que partiendo de la “prefiguración” del lector o *mímesis I*, este toma contacto con el mundo del relato que le propone actuar la trama produciéndose la “configuración” o *mímesis II* que lo lleva a una “refiguración” de su propio concepto o *mímesis III*, lo cual realimenta la “prefiguración” de futuras interpretaciones).

ESTRUCTURA Y PLAN DE LA OBRA

§. *Dificultades propias de la comunicación escrita de una investigación*

En toda investigación se da un desarrollo de la producción de conocimiento que podemos figurar en la metáfora de la “espiral”²⁵, en donde la producción crece a través de idas y venidas, en forma recurrente, con circunvoluciones cada vez más amplias y abarcativas:

Muchos autores han empleado la metáfora de la espiral para expresar de manera más rica el movimiento del desarrollo del conocimiento humano [...] queríamos que la imagen de la espiral implique (a) un movimiento de crecimiento o de expansión [es el desarrollo del conocimiento]; (b) un movimiento de recorrido circular o de retorno [el desarrollo no se da linealmente, como avanzando sin retorno por un camino o subiendo una escalera (cf. Temporetti, 2014)]; (c) un movimiento de ascenso o elevación [en cuanto se va viendo más claramente la respuesta a ese problema que motoriza el conocimiento]; (d) un movimiento de configuración de planos jerárquicos [es lo que usualmente se denomina fases del desarrollo embrionario del conocimiento]; (e) un movimiento de ensimismamiento o de profundización. (Samaja, 2004, p. 214) (aclaraciones entre corchetes propia: H.M.)

Más allá de lo completo de la metáfora de Samaja, lo interesante de la imagen de una espiral (como la usada para combatir la “mosquitada”), es que da la sensación de que el conocimiento nunca

25. Para los no matemáticos, la figura más usual es la de la espiral para combatir los mosquitos “Una espiral —escribió G. Bateson— es una figura que conserva su forma (vale decir, sus proporciones) a medida que crece en una de sus dimensiones por adición en el extremo abierto. (1980, 11)” (Samaja, 2004, p. 214).

“cierra del todo” siempre es posible darle “una vuelta más”: “El conocimiento no es (o no sigue) una línea recta, sino una curva que se aproxima infinitamente a una serie de círculos, a una espiral’ Lenin (1968, 327)” (citado por Samaja, 2004, p. 214)

Tomada esta imagen para hablar de nuestra investigación, es claro que lo que se obtuvo investigando en un desarrollo ascendente en espiral es forzado a la secuencia lineal del escrito. Esta necesaria impostación lleva a la necesidad de hacer referencias permanentes hacia atrás —a través de los “cf. *infra*...”— y hacia adelante —a través de los “cf. *supra*...”—. Creemos que si bien las referencias cruzadas hacia atrás y hacia adelante pueden “entrecortar” un poco la lectura, tienen la ventaja de apoyar la interpretación de lo que se lee y la cohesión de lo producido.

§. *Presentación en pasos alternados y esquema*

La metáfora del camino

Para avanzar iremos dando “pasos” alternados que se materializarán en capítulos que ponen el acento en “*hechos*” y otros que acentúan las “*reflexiones*” sobre los mismos. Debemos aclarar que los “hechos” no son hechos “brutos” en tanto todo hecho lleva en sí algo de *interpretación* (como veremos). Por esto, sería más justo —hermenéutica y epistemológicamente— hablar no de *hechos* sin más (o brutos) sino referirnos al binomio inextricable *hechos/interpretaciones*.

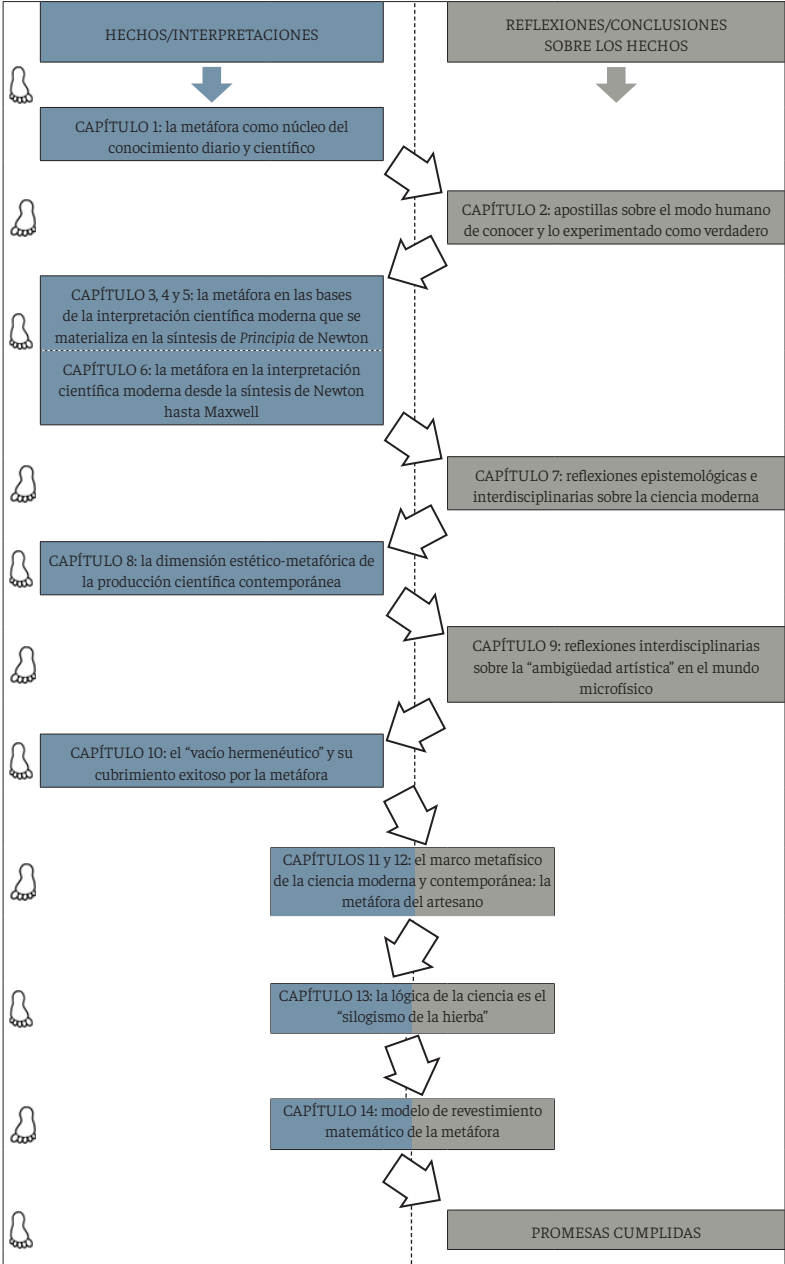
Las reflexiones sobre estos *hechos* tienen también cierta dimensión de *conclusiones*, por lo que sería más justo hablar de *reflexiones/conclusiones*. Por último, existen capítulos donde es difícil separar la acentuación al incluir hechos y reflexiones íntimamente enlazados. Estas distinciones tienen que ver con el proceso real de una investigación (cf. *supra*: *Dificultades propias de la comunicación escrita de*

una investigación en esta Introducción) y con el modo de conocer que vamos a describir.

La metáfora del desarrollo embrionario

Si bien la presentación en pasos alternados tiene la intención de acompañar la lectura y la interpretación del lector o la lectora, la misma no intenta imponer una necesaria secuencia lineal de lectura; de hecho las referencias cruzadas a las que hemos hecho referencia en el subtítulo anterior presentes en cada paso, habilitan una lectura de cada capítulo de modo quasi independiente. Es decir, los “pasos sucesivos” no deben entenderse como etapas a superar sino como fases de un desarrollo embrionario o espiralado, en el que cada paso o capítulo o fase lleva las “marcas” del resto de los capítulos. Tengamos en cuenta que el proceso de desarrollo de una investigación o del desarrollo de conocimiento no se da en etapas lineales sucesivas sino más bien desde la metáfora de la espiral o del desarrollo embrionario como hemos señalado (cf. cita de Samaja 2004 del subtítulo anterior).

Los pasos alternados podemos visualizarlos según el esquema siguiente:



Comentamos brevemente a continuación que encontrará el lector o lectora en cada uno de estos pasos.

En el Capítulo 1 mostraremos a la metáfora como un mecanismo de “inteligencia natural”, esto es, como lo que *naturalmente* surge acompañando y materializando todo intento de conocer, descifrar, explicar, darse a entender (tanto en la vida diaria como en la científica). Notaremos que la concepción que hemos heredado sobre la ciencia moderna se niega a asumir un lenguaje subjetivo y ambiguo —como es (de modo paradigmático) el de la metáfora— en la *base* de sus producciones. Esta negación se manifiesta en una “desaparición” de la metáfora que ha originado el conocimiento, en base a —paradójicamente— una metáfora epistémica omnicomprendensiva que dice que *la naturaleza es un libro escrito en caracteres matemáticos y que la ciencia está escrita en él* (cf. Galilei, 1981). Tal negación se manifiesta en un forzado revestimiento matemático de la metáfora de base y en una reorganización artificial y axiomática de los contenidos. Esta operación propone un resultado secuencial en avance lineal, bien trabado que “artificializa” el proceso científico investigativo real, deshumaniza a la ciencia (en tanto aparece reducida a una cuestión de gente superdotada o que piensa distinto que el resto de los mortales) y convierte a los conocimientos producidos en una edificación monolítica sin fisuras donde no hay intersticio para ninguna alteración o cuestionamiento. Tal modo de presentación condena —por lo demás— a la educación en una transmisión reproductiva sin intercambio (con el consiguiente tedio y desinterés de los estudiantes).

En el Capítulo 2 propondremos en base a lo analizado en el Capítulo 1 algunas sentencias que interpretan conclusivamente o completan sintéticamente lo dicho. Serán unas “apostillas” sobre el conocimiento, la lógica que usamos al conocer y lo que experimentamos como “verdad”.

En el Capítulo 3 cuestionaremos la metáfora de Galileo “el universo es un libro escrito en lengua matemática” (metáfora que ha

sepultado al resto de las metáforas cualitativas o no numéricas), anticiparemos aquí modelos de construcción de datos e hipótesis que desdicen los presupuestos de tal metáfora.

En el Capítulo 4 mostraremos —como ejemplos iniciales— el sistema metafórico empleado por Newton (normalmente desconsiderado por la posteridad) que permitieron al genial científico sentar las bases de la física moderna con su *Ley de Gravitación Universal* y sus *tres leyes del movimiento*. Observaremos que Newton *no lee el libro* de la naturaleza sino que más bien y por motivos teológicos, le impone una perfección geométrico matemática. Funciona en esta imposición la metáfora del *artesano divino* que viene operando con éxito en el ámbito filosófico desde la *República* de Platón.

En el Capítulo 5 señalaremos la incomodidad de la naturaleza para “adaptarse” al modelo lógico matemático de Newton, lo cual se observa en la dificultad para probar empíricamente que las cosas en la naturaleza funcionan con la perfección matemática propuesta. Esto plantea la sospecha de que el lenguaje que habla la naturaleza no es matemático sino que se da en un diálogo mediado por metáforas en la que el observador es totalmente activo y no alguien que observa pasivamente.

En el Capítulo 6 observaremos que el resultado producido por Newton se vuelve un paradigma que es replicado inicialmente por Coulomb en el ámbito de la electrostática y por Faraday y Maxwell en el del electromagnetismo, todos ellos usan metáforas que luego son revestidas matemáticamente. En todos estos casos (Newton, Coulomb, Faraday, Maxwell) mientras las metáforas en juego movilizan la creatividad, el pensamiento y la comunicación mostrando palpablemente la idea o imagen genial que permite conceptualizar lo abstracto, su *suplantación* (y no *complementación*) posterior por enunciados numéricos, algebraicos y de cálculo avanzado sepulta la producción científica en un empantanamiento que sólo puede ser atravesado por pocos. Cabe destacar que ni Newton, ni Faraday, ni Maxwell ocultan sus metáforas y el uso que de ellas hacen, sino

que la posteridad —quizás por un celo positivista— es quien las ha desechado, desconocido u olvidado. Si nos quedamos sólo con los resultados finales nos sentimos muy lejos de los “divinizados” productores de los mismos. Así se dijo de las ecuaciones de Maxwell (sintetizadas en notación vectorial por Oliver Heaviside): *¿Fue acaso un dios el que escribió estos signos?* (expresión de Ludwig Boltzmann). Y se ha dicho de Newton:

*Alzaos, hombres mortales, y apartando cuidados terrenos.
Aprended la potencia de una mente de celeste linaje [...]
Venid, pues, los que sabéis deleitaros con el néctar
Celestial a celebrar conmigo en cánticos el nombre
De Newton, grato a las Musas, porque el
Abrió los tesoros ocultos de la verdad;
Tan caudalosamente derramó Apolo, el Sol, en su espíritu
Y en su pecho puro el resplandor de su propia divinidad
Ningún mortal puede acercarse más a los dioses.*

(fragmento de la Oda dedicada a Newton por Edmund Halley en la presentación de la obra magna de Newton *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*)

En sintonía con Halley se dice que Alexander Pope escribió: “Dios dijo sea la luz y fue Newton”... Mientras tanto, hay indicios de que los propios protagonistas se han sentido no como dioses sino como niños impulsados por la pasión, el juego y el entusiasmo de los felices encuentros... Volvamos a leer este hermoso testimonio de Newton que hemos usado como uno de nuestros epígrafes:

No sé lo que pareceré a los ojos del mundo, pero a los míos es como si hubiese sido un muchacho que juega en la orilla del mar, y se divierte de tanto en tanto encontrando un guijarro más pulido o una concha más hermosa, mientras el inmenso océano de la verdad se extendía, inexplorado, frente a mí. (Newton, 1982)

Haremos un breve recorrido por las metáforas usadas por los científicos que cubren el hueco entre el SXVIII y el SXX, no entraremos aquí en muchos detalles ni traeremos a consideración todas las metáforas (para no saturar al lector, remitiremos para un panorama más completo directamente a nuestra Tesis). Creemos que, reconstruido el mecanismo de inteligencia natural que funciona en los contextos de creación y comunicación en los capítulos propuestos, no hay necesidad de ahondar en más detalles.

En el Capítulo 7 nos sentaremos a reflexionar sobre lo analizado en los capítulos anteriores, tejeremos un texto de dimensiones hermenéuticas, epistemológicas e interdisciplinarias de lo estudiado respecto de la ciencia moderna.

En el Capítulo 8 avanzaremos en el camino de la ciencia contemporánea, mostraremos que el científico del SXX obra como un artista dando origen a metáforas basadas en criterios estéticos y de simetría que lo involucran muy activamente en una especie de “estética predictiva” de la realidad. Este salto del SXVIII al SXX se justifica didácticamente porque el paradigma galileano del *libro matemático* que es leído sin más por un observador pasivo (aislado por el método) entra en crisis con la *mecánica cuántica* (que migra de la metáfora de las “olas” a la de las partículas para la radiación) o bien su simétrica *mecánica ondulatoria* (que migra de la metáfora de la partícula a la de la “ola” para el electrón). Las metáforas hídricas tienen aquí un papel destacado. El cimbronazo es tal que varios científicos vuelven a leer el *Timeo* de Platón y se preguntan filosóficamente qué es la materia y cuál el misterio que enlaza el mundo platónico matemático con el mundo mental y con el mundo físico (cf. *Los tres mundos* de Roger Penrose).

En el Capítulo 9 reflexionaremos de modo interdisciplinario sobre la “ambigüedad artística” en el mundo microfísico manifestada en el capítulo anterior.

En el Capítulo 10 presentaremos testimonios de los científicos sobre el vacío hermenéutico que han experimentado frente a

hechos enigmáticos y como se ha configurado como un pensamiento sin palabras o “pensamiento silencioso” (en expresión de Alfred Korzybski). Esta experiencia es como el término *a quo* del proceso creador que se resuelve en un cubrimiento de tal vacío de tipo metafórico (que en términos lógicos se engarza en un razonamiento abductivo). Veremos que tal vacío está como “preñado”, es decir, no se trata de algo totalmente amorfo, sino que entra en sintonía con una cantera de analogías que se ha constituido de modo pragmático, por lo que el proceso de cubrimiento resulta exitoso.

En los Capítulos 11 y 12, nos referiremos al gran marco metafísico de la ciencia moderna y contemporánea, que es explícita o implícitamente la metáfora del artesano (productor del cosmos) y sus derivaciones en las metáforas del ingeniero constructor de máquinas y de la emanación. Estas hacen referencia a la relación matemática - naturaleza, planteando si la matematización puede ser total o parcial. Haremos la distinción entre matemática y *mathesis* para ver la continuidad entre el vestimento metafórico y el revestimiento matemático.

En el Capítulo 13 haremos una apostilla sobre la lógica de la ciencia: es el “silogismo de la hierba” (= silogismo de la metáfora).

En el Capítulo 14 propondremos un modelo interdisciplinario de revestimiento matemático de las metáforas de base, a ojos vista que es el modelo matemático como el “culmen” de la producción científica moderna. Veremos que hay cierta continuidad de la operación metafórica tanto en el “vestimento” de la metáfora base como en su “revestimiento” matemático. Este último revestimiento puesto en primer plano por el acento dado al “contexto de validación” lleva a olvidar o a desconsiderar el creativo “contexto de descubrimiento” donde funcionan los traslados metafóricos y que dialoga permanentemente con el primero. Observaremos que este mecanismo de presentación de resultados olvida el proceso real de toda investigación científica.

En las Conclusiones ofreceremos una visión sinóptica sobre el cumplimiento de lo prometido haciendo referencia a distintos tramos del recorrido desarrollado. Con esta visión sinóptica estaremos en condiciones óptimas de observar la diferencia sustantiva entre la inteligencia artificial y la inteligencia natural que fue delineada a lo largo del libro.

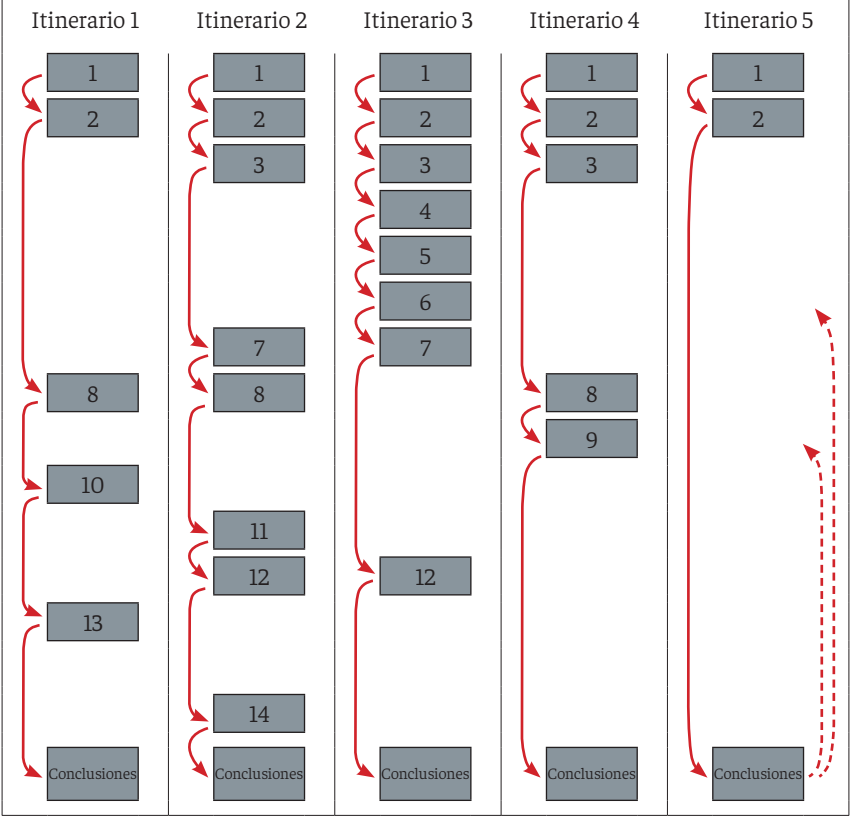
Anexos Físico-Matemáticos: como adelantamos, hemos decidido trasladar algunos desarrollos a una sección de Anexos para facilitar la lectura en general y para no interrumpir la lectura de aquellos y aquellas que están interesados en una epistemología de la metáfora en ciencia y no son versados o no tienen interés en cuestiones físicas o matemáticas. Sobre todo tratamos en estos anexos el revestimiento matemático de algunas de las metáforas mencionadas.

DISTINTOS ITINERARIOS DE LECTURA DE ESTE LIBRO

Este libro admite además de la lectura secuencial, lineal y completa, varios itinerarios de lectura parcial que captan la esencia del mensaje procurado y que proponemos a continuación:

ITINERARIOS DE LECTURA PARCIAL (SECUENCIA DE CAPÍTULOS Y CONCLUSIONES)

- Itinerario 1: centrado en el proceso de Inteligencia Natural
- Itinerario 2: centrado en las metáforas de la relación Física-Matemática
- Itinerario 3: centrado en las metáforas de la Física Clásica
- Itinerario 4: centrado en las metáforas de la Física Contemporánea
- Itinerario 5: a gusto del lector, de los capítulos 1 y 2 a las “Conclusiones” y de ellas a cualquier capítulo intermedio según el interés despertado por las mismas. Específicamente para los interesados en la distinción sustantiva entre inteligencia natural e inteligencia artificial, proponemos la lectura de “Conclusiones: promesas cumplidas, anudando lo que falta y apostillas finales” y del Anexo 7: “Inteligencia artificial o comprensión y creación simulada matemáticamente”.



Capítulo 1

LA METÁFORA COMO NÚCLEO DEL CONOCIMIENTO DIARIO Y CIENTÍFICO: ¿CIENCIA FÍSICO-MATEMÁTICA “DURA” CON BASES “ARTÍSTICAS” BLANDAS?

la metáfora es un procedimiento intelectual por cuyo medio conseguimos aprehender lo que se halla más lejos de nuestra potencia conceptual. Con lo más próximo y lo que mejor dominamos, podemos alcanzar contacto mental con lo remoto y más arisco...

Ortega y Gasset, “Las dos grandes metáforas”

I. CONSTRUCCIÓN DE UN KIT DE HERRAMIENTAS

Veremos a continuación algunos ejemplos sobre el uso que hacemos de la metáfora tanto en la vida diaria como en el ámbito científico. La idea es que logremos captar que la metáfora no es algo que sólo crean los poetas sino una herramienta *sine qua non* de nuestro conocimiento, es decir, tanto en la vida diaria como en la ciencia conocer o alcanzar inteligencia se logra metaforizando.

Esto nos permitirá extraer tres consecuencias iniciales sobre nuestro real modo de conocer —en cualquier ámbito— y sobre el supuesto modo de conocimiento que se ha impuesto —el cual divide las aguas entre un conocimiento “devaluado” o de todos los días y el conocimiento *científico* que coincidiría con el conocimiento propiamente dicho—.

Estas tres consecuencias¹ del presente capítulo darán lugar a una serie de “apostillas” sobre el conocimiento, su lógica y la verdad (cf. *infra*: Capítulo 2) que en conjunto conformarán un *kit de herramientas* conceptuales que nos permitirán analizar el trabajo científico y “desarmar” algunas cosas muy arraigadas en el sentir común sobre lo que es ciencia y para consiguientemente volver a construir revalorizándonos como creadores de realidades a través del conocimiento en el ámbito que sea.

1. Ellas son (cf. *infra*): i) ¿Qué es metaforizar?, ii) Los esquemas híbridos puente teoría-empiría, iii) El positivismo descascarado.

II. METÁFORAS VIVAS Y MUERTAS EN LA VIDA DIARIA: EJEMPLOS

*Suprímase de nuestra vida todo lo que no
es metafórico y nos quedaremos disminuidos
en nueve décimas partes.*
Ortega y Gasset, “Renan”

§. Aberraciones y caprichos

Como señala Ortega y Gasset (1908), la metáfora es un procedimiento intelectual que consiste en hacer uso de algo que conocemos para lograr conceptualizar o alcanzar contacto mental con aquello que en principio nos resulta “arisco” o desconocido. La palabra “metáfora” proviene del verbo griego *metaféro* que significa “trasladar” (Pabón, 2001, p. 391), por lo que “metáfora” viene a significar “traslación”. Lo que se traslada es un esquema² conocido sobre aquella situación que se intenta entender, tal traslado se realiza en base a cierta semejanza atisbada logrando con esta operación una inicial intelección o contacto mental.

Este alcanzar una intelección o contacto mental con lo que en principio se presentaba como inasible o arisco, es algo muy activo y

2. Esquema que integra una “cantera de analogías” (como anunciamos en la Introducción) o cantera de esquemas que han funcionado o han tenido éxito en nuestra andadura por los hechos y las cosas del mundo y que destilados y retenidos —debido a su utilidad teórica y práctica— anidan en nuestra praxis. Seguiremos indagando sobre la naturaleza de esta cantera. ¿Dónde reside esta “cantera de analogías”? ¿A qué ámbito de lo humano podríamos adscribirla? Con reservas —y con la sola intención de responder a una pregunta que el lector o lectora puede estar haciéndose— nosotros la asociaríamos al ámbito de lo mental.

creativo tanto así que su resultado es una metáfora que está “viva” (Ricoeur, 1977).

Pero esta metáfora tan vivaz y movilizante en su origen, exitosa en el logro de ese contacto mental buscado por su creador, va “muriendo” con su uso. Lo que en su momento fue una metáfora “viva” ahora es una metáfora muerta o lexicalizada. Veamos algunos ejemplos. Solemos decir “esto es una *aberración*” y todos entendemos lo que significa. Ese entendimiento fue logrado en su origen mediante una operación metafórica. Debido al uso hoy hemos olvidado ese origen, por lo que la palabra “aberración” es una metáfora muerta o como se dice una *katacrexis*³. El diccionario normalmente nos señala el origen de las palabras o su etimología y muchas veces en esa etimología encontramos los rastros de la operación metafórica que creó la palabra y su concomitante significado. Por ejemplo, según el Diccionario de la Real Academia (DRAE) la palabra “aberración” proviene de la voz latina *aberratio* que significa *desvío del camino* y esta de *aberrare* que significa *andar errante* (De Miguel y el Marqués de Morante, 1914, p. 3). De la acción pedestre concreta de desviarse o salirse del camino pasó a significar: “Grave error del entendimiento” (DRAE, 1ª acepción) y también “Acto o conducta depravados” (DRAE, 2ª acepción).

Notemos en este ejemplo la operación llevada a cabo: mediante lo conocido —*desviarse o salirse del camino*— se esquematiza dando fisonomía conceptual a lo más abstracto —*desviarse mentalmente o*

3. Del griego *katá-krisis*: condenación a muerte (Pabón, 2001, p. 329.356). Escribo “katacrexis” en vez de “catacrexis” (como se encuentra en el diccionario) siguiendo la traducción de Ricoeur (1977), con “k” la palabra se vincula más francamente con la etimología recién referida. Así, en este libro utilizaremos la palabra katacrexis en el sentido etimológico de *muerte* referida a una metáfora lo que significa su *lexicalización* y olvido de su origen metafórico. Cabe destacar que el diccionario da la versión retórica de la “catacrexis” como “Designación de algo que carece de nombre especial por medio de una palabra empleada en un sentido metafórico, como en *la hoja de la espada* o *una hoja de papel*” (DRAE). Así, el diccionario no distingue entre el estado vivo o muerto de la metáfora.

conductualmente—. Este esquematizar se logra mediante el traslado —*metaféro*— de un esquema desde un ámbito familiar —dominio fuente— hacia un ámbito más abstracto —dominio meta⁴— en el que se logra cierta inteligencia. Una aberración entonces, es un desvío, un salirse del camino, pero no de la senda física sino de la senda mental o conductual lo cual es una metáfora. ¿Cómo expresarlo sin metáfora? (Podríamos no hacer metáfora e inventar una palabra nueva, por ejemplo “56xyz” y asignarle como significados: “Grave error del entendimiento” y “Acto o conducta depravados”, pero este sería un modo forzado, poco inteligente y poco económico de proceder⁵).

Otro ejemplo: todos entendemos lo que es un “capricho”. También su concepto tiene origen metafórico. Según el diccionario la palabra proviene del italiano antiguo “caporiccio”, de capo “cabeza” y riccio “rizado” (DRAE). Un capricho es un cabello rizado como “el pelo de una cabra” (Zimmerman, 1999, p. 97). Vinculado a la cabra otro origen de capricho —que se discute— es el vocablo italiano capriccio, que proviene del latín *capere* “macho cabrío” (Corripio, 1996, p. 84), un animal cuyos saltos físicos son poco previsibles.

De estas significaciones concretas pasó a significar algo más abstracto a lo que le dio concepto: un caprichoso es quien tiene actitudes o pensamientos que no tienen sentido definido sino que van rotando como rota un rizo o van brincando de un lado a otro como una cabra. El diccionario estiliza el concepto: “Determinación que se toma arbitrariamente, inspirada por un antojo, por humor o por deleite en lo extravagante y original” (DRAE, 1ª acepción). También en este caso con lo más próximo y lo que mejor dominamos, conceptualizamos lo

4. Este vocabulario sobre dominios: “fuente” (*source domain*) y “meta” (*target domain*) pertenece a Lakoff (1993).

5. En el fondo estaríamos reduciendo la comunicación a un juego combinatorio en el que el sujeto no aporta nada en el uso del lenguaje. Ver al respecto los cuentos de Borges *Nota sobre (hacia) Bernard Shaw* (Borges, 1952a, p. 747-749) y *Pierre Menard, autor del Quijote* (Borges, 1941b, p. 444-450).

más abstracto. ¿Podríamos decirlo de otro modo? En vez de “eres un caprichoso” podríamos decir: “Eres un arbitrario”, pero entraríamos en un círculo vicioso, el diccionario nos dice que “arbitrario” es algo “Sujeto a la libre voluntad o al capricho antes que a la ley o a la razón” (DRAE). ¿Cómo decirlo sin hacer uso de una metáfora?

Nos comunicamos y conceptualizamos haciendo uso de metáforas muertas y creando metáforas vivas. Si nos preguntamos qué es para nosotros una “discusión” ¿qué responderíamos? ¿lograríamos hacerlo sin recurrir a una metáfora?

Podríamos seguir dando ejemplos con casi todas las palabras del español, al respecto dice Jorge Luis Borges:

Remy de Gourmont observa: En el estado actual de las lenguas europeas, casi todas las palabras son metáforas. El hecho es irrecusable y basta hojear un diccionario etimológico para testificar su verdad pero le falta virtualidad polémica. Creo que es imposible prescindir de metáforas al hablar y que es imposible entendernos sin olvidarlas. (Borges, 1928, p. 52)

§. *Organismo conceptual metafórico*

Por lo dicho, no es descaminado decir que mediante la metáfora somos creadores del lenguaje natural (cf. Percy, 1958, p. 58; Nietzsche, 2011, p. 611), desde lo más concreto vamos dando locución y significado a lo más abstracto. Así, el lenguaje natural no es algo meramente exterior al ser humano, sino que lo implica (o lo ha implicado) vivencialmente a través de inferencias de base metafórica.⁶ El consultar el diccionario y reparar en el origen de la palabra, muchas veces nos brinda una captación experiencial sobre su significado.

En sintonía, Lakoff & Johnson (2007) analizaron el lenguaje natural, detectando que la metáfora era el mecanismo por el cual

6. La inferencia es abductiva y para funcionar necesita de la metáfora como veremos (cf. *infra*: esquemas N° 7, N° 8 y N° 9 en el Capítulo 2).

dábamos significado a nuestras experiencias diarias. Para ellos la metáfora se presentaba como un “entender y experimentar un tipo de cosa en términos de otra” (p. 41), hecho que quedaba evidenciado en el lenguaje. Así, en esta obra —cuyo título original podría traducirse como “Metáforas por las que vivimos”— los autores muestran que la metáfora es inevitable en los procesos humanos del pensamiento, del conocimiento y de la comunicación. Y en un osado aporte en el estudio de la mente afirman que nuestro sistema conceptual es metafórico, es una red intrincada de metáforas que conceptualizan y dan sentido a nuestra actividad.⁷

A la luz de lo afirmado pensemos de nuevo en los ejemplos: una “aberración” cobra nuevo sentido desde su metáfora de base, es un desviarse pero ya no de un camino físico sino mental; un “capricho” cobra nueva vitalidad semántica, es un rizo del pensamiento, una extravagancia⁸ (o un vagar más allá de la razón) y forma red metafórica con lo arbitrario de los saltos de una cabra.

Pero no sólo la semántica o significado de las palabras tiene base metafórica sino que muchas cosas que hacemos, pensamos y defendemos tienen esa base. Por ejemplo George Lakoff dice que en su país se tiene a la familia como metáfora de la nación, hecho que queda reflejado en el lenguaje: tienen *Padres* fundadores, *Hijas* de la revolución, *Hijos* que van a la guerra. Así, ante el hecho de la existencia de dos concepciones diferentes de nación se pregunta: ¿Se deberá a la existencia de dos modelos distintos de familia? “Puse por delante las dos visiones de la nación, y aparecieron inmediatamente dos estilos diferentes de familia: la familia del padre estricto y la familia de los padres protectores” (Lakoff, 2004, Prólogo, párr. 16 y 17).

7. Un antecedente importante en esta consideración de la metáfora, que pasó desapercibido y que hubiese merecido ser fermento de estudios posteriores, fue el ensayo: “*Metaphor as mistake*” (La metáfora como error) del médico y novelista Walker Percy elaborado en la década de 1950 (perteneciente a la colección de ensayos reunidos en Percy, 1989).

8. Cf. la obra *Los caprichos de Goya* (Goya y Lucientes, 1799).

En este ejemplo de Lakoff, desde la experiencia familiar se traslada un esquema (consciente o inconscientemente) para obtener un concepto de nación. Lakoff & Johnson (2007, p. 101ss) llaman a este tipo de metáforas “estructurales” pues son estructuradoras, funcionalizadoras o coherentizadoras de una experiencia en términos de otra. Notemos que siempre el proceso metafórico da concepto a entidades más abstractas desde entidades más familiares o concretas.

La metáfora de base que estructura y da sentido a determinada experiencia no es inocente, por ejemplo podemos discutir bajo la metáfora “una discusión es una guerra”, que queda reflejada en el lenguaje: “Tus afirmaciones son *indefendibles*. *Atacó todos los puntos débiles* de mi argumento. Sus críticas dieron *justo en el blanco*. *Destruí* su argumento. [...] las cosas que *hacemos* al discutir están estructuradas parcialmente por el concepto de guerra” (Lakoff & Johnson, 2007, p. 40-41). O bien podemos entender que una discusión puede estructurarse bajo la metáfora de una construcción, que quedaría reflejada en las expresiones: “Tu argumento me ha *edificado*”, “Espero haber *apuntalado* tu postura”. El marco guerrero y el marco constructor activan disposiciones y actitudes diversas frente a la discusión.

Sin buscarlo conscientemente, el lenguaje y los conceptos sobre lo que es y lo que se hace en una discusión, se ha estructurado sobre lo que es y lo que se hace en un combate. Antes nos hemos preguntado ¿qué es una “discusión”? Muy probablemente en nuestra respuesta recurriremos a metáforas. Podemos en vez de pensar en un “discutir”, pensar en un “debatir”. El contexto bélico que se traslada metafóricamente para conceptualizar la acción del “debatir”, ha quedado almacenado en la etimología. De-batir y Com-batir provienen del latín *battuere*: “golpear”, por lo que combatir podría entenderse como un golpear físico y el debatir como un “golpear” con argumentos. El marco de la construcción no queda eliminado en un debate, ya que el impacto de un argumento ajeno puede hacernos recapacitar y salir de nuestro —quizás— demasiado rígido esquema.

Expansión metafórica de nuestro horizonte conceptual

Preguntábamos más arriba si podíamos decir o conceptualizar sin recurrir a la metáfora... Como señala Ortega y Gasset (1985 [1925]) la metáfora, lejos de ser un embellecimiento inventado por los poetas (de algo que podría decirse “llanamente”), permite lograr conocimiento directo allí donde otro procedimiento no llega: “Sin ella habría en nuestro horizonte mental una zona brava que en principio estaría sometida nuestra jurisdicción, pero de hecho quedaría desconocida e indómita” (p. 604-605).

Es decir, la metáfora no puede ser sustituida, siempre opera en el límite de nuestra potencia conceptual, ampliando y corriendo este límite u horizonte. Para que no queden dudas Ortega dice que la metáfora es “un suplemento a nuestro brazo intelectual, y representa, en lógica, la caña de pescar o el fusil” (p. 604). Sin esta herramienta nos quedaríamos sin la presa. Esa presa adopta la forma de fenómenos y hechos que nos desafían, ya que inicialmente no tenemos una explicación o un nombre para darles y generando una especie de “vacío” nos acicatean para cubrirlo. La estrategia natural de cubrimiento es conocer lo desconocido trasladando (*metaféro*) un esquema desde lo conocido. Este conocer o dar a conocer mediante lo conocido es como un principio general del conocimiento, dice Samaja: “Nicolás de Cusa dejó asentado un principio absoluto del conocimiento cuando sostuvo que todo aquel que investiga o busca conocer, lo hace juzgando lo desconocido —‘comparándolo mediante algún sistema de proporciones’— con lo que ya conoce de alguna manera” (Samaja, 2004, p. 138). Cusa lo dice de este modo:

[...] todos los que investigan juzgan proporcionalmente lo incierto en la comparación con un presupuesto cierto. En consecuencia toda investigación es comparativa aplicando el instrumento de la proporción [...] Por lo tanto, toda investigación consiste en la proporción comparativa. (Nicolás de Cusa, 2003, p. 39)

Necesaria base somática del organismo conceptual

Las metáforas resultan ser conceptuales en tanto nos permiten asir una experiencia o tomar contacto mental con ella en términos de otra experiencia más familiar. Lo vimos con los ejemplos de la “aberración”, del “capricho”, de la “discusión”, de la “nación”. Pero no todo es metáfora en este organismo, hay conceptos a los que accedemos directamente, es decir sin recurrir a la metáfora, ellos constituyen un dominio fuente básico en el que hacemos pie para establecer metáforas fundamentales como lo son las “espacializadoras” y las “sustancializadoras” (que describiremos en breve), las que a su vez pasan a integrar las metáforas “estructuradoras” (a las que ya hemos aludido en los ejemplos de conceptualización de la nación como una familia o de una discusión como una guerra o una construcción) las cuales se integran en niveles de mayor complejidad.

En la cita referida de Borges (1928), el escritor señala que “casi todas las palabras” (p. 52) —y no “todas”— tienen origen metafórico. Desde nuestro estudio no es un detalle menor, es fundamental, porque si todo ha de ser metáfora no habría metáfora posible, pues no habría un dominio fuente “primero” desde donde arrancar los traslados metafóricos. Recordemos que la esencia de la operación es trasladar un esquema desde un dominio “fuente” familiar hacia otro dominio “meta” abstracto. Debemos poder conocer algo “directamente” es decir sin metáfora para evitar una regresión al infinito que dejaría sin base —sin un dominio fuente inicial— al organismo conceptual metafórico.

Estos conceptos conocidos directamente son los conceptos de base física corporal, tales como “arriba-abajo” y “dentro-fuera”. Ellos emergen directamente de la experiencia, no son metáforas sino *esquemas de base corpórea* sobre los que se producen los traslados metafóricos (cf. Lakoff & Johnson, 2007, p. 96). Este conocimiento directo no debe ser interpretado en el sentido positivista de B. Russell (cf. Russell, 1995, p. 56), como si no mediara ninguna

teoría del sujeto en la conceptualización de estos esquemas, lo cual los reduciría a algo “puramente” empírico. Hay que notar que estos esquemas no son ni puramente empíricos ni puramente teóricos, son esquematizaciones híbridas, es decir, tienen cierto rasgo “universal” que los asemejaría a lo “teórico”⁹ pero a su vez tienen una raigambre fuertemente empírica en tanto situaciones de hecho particulares.¹⁰

Desde la experiencia física (directa) que da origen al esquema “arriba-abajo” se producen traslados metafóricos que nuestro lenguaje revela, Lakoff & Johnson señalan, como un ejemplo, la presencia del esquema: “feliz es arriba; triste es abajo” y ponen algunos ejemplos que solemos usar: “eso me *levantó* el ánimo [...] *Caí* en una depresión [...]”. Los autores señalan la “base física” de estas asignaciones metafóricas de sentido: “Una postura inclinada hacia abajo acompaña a la tristeza y a la depresión, una postura erguida acompaña a un estado emocional positivo” (Lakoff & Johnson, 2007, p. 51). Debido a su naturaleza espacial, estas metáforas se denominan metáforas *orientacionales* o *espacializadoras*. Hay que observar que una metáfora espacializadora asigna posiciones espaciales a algo que en principio no lo puede tener porque no es un objeto físico en el espacio.

Notar que una metáfora orientacional o espacializadora como “eso me *levantó* el ánimo” (basada en el esquema directo “arriba-abajo” que opera como dominio fuente), está suponiendo que el “ánimo” es una “sustancia” que puede tener una posición. Es decir, además de las metáforas espacializadoras (como “eso me *levantó* el ánimo”), hay otras metáforas también fundamentales que se basan en la experiencia somática de tener un “adentro” y un “afuera” separados por la epidermis. Este

9. Lo *teórico* “refiere a los conceptos y proposiciones universales” (Samaja, 2004, p. 29 nota 11).

10. Lo *empírico* refiere “a hechos o situaciones de hecho” (Samaja, 2004, p. 29 nota 11), hace referencia a lo *particular*. La configuración arriba-abajo sólo tiene sentido en la situación de vida de seres (de simetría no esférica) en un campo gravitacional. ¿Habría esquema arriba-abajo para seres totalmente esféricos que flotan en el espacio?

esquema adentro-afuera da lugar a una lógica de “contenedor”, donde se da cierta preferencia por lo de adentro: “adentro” es “sí”, “afuera” es “no”, “adentro” es “verdadero”, “afuera” es “falso”, “correcto” es “adentro”, “equivocado” es “afuera” (cf. Lakoff & Jonhson, 2007, p. 63ss). “La piel” es un límite que determina que lo que está “más allá” de ese límite sea algo distinto a lo que somos nosotros, otra sustancia, otra cosa. Estas son las llamadas *metáforas sustancializadoras* u *ontologizadoras* que son metáforas conceptuales básicas como las orientacionales. Mediante este tipo de traslados metafóricos sustancializadores trazamos límites artificiales que nos son útiles: “la montaña”, “la esquina”, etc.... Hay que reparar en que “todo lo que hay” es más bien un *continuo* en el que trazamos estas “geografías” útiles y metafóricas. Los conceptos de sustancia, objeto, recipiente son metáforas que emergen de una experiencia inmediata con nuestro cuerpo y algunos objetos concretos (cf. Lakoff & Jonhson, 2007, p. 98).

Las metáforas espacializadoras y ontologizadoras son fundamentales pero semánticamente limitadas o pobres, es decir, no permiten estructurar por sí mismas —dando sentido— a experiencias más complejas (cf. p. 101). Las metáforas estructuradoras que hemos visto son en este sentido, más ricas en consecuencias cognoscitivas.

Otros esquematismos de base corporal que son dominios “fuente” conocidos “directamente” y que permiten hacer pie para metaforizar son:

- el movimiento hacia adelante o la necesidad de retroceder... hacia adelante es *bueno*, hacia atrás es *malo*: “no retrocedas en tu empeño”;
- basados en la fisiología de la vista: la luz es *buen*a, la oscuridad es *mal*a: “es un ser oscuro”, “es un ser luminoso”;
- basados en el olfato: “esta situación me *huele* mal”;
- basados en el tacto: “tus palabras me *duelen*”;
- basados en el gusto: “esta cuestión me dejó un *gusto* amargo”, “mucho *gusto* en conocerte”;
- basados en el oído: “ese dato me hace *ruido*”.

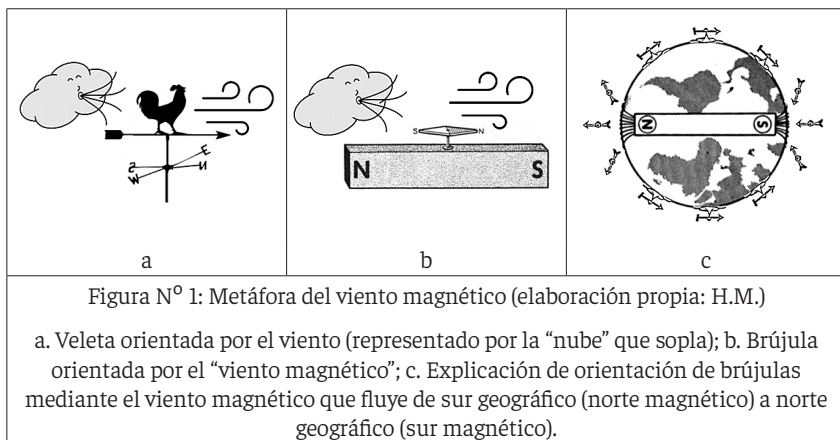
III. METÁFORAS VIVAS Y MUERTAS EN CIENCIA: EJEMPLOS

El conocimiento mismo no es otra cosa que el hallazgo de analogías. Con esto los métodos científicos fueron definidos de nuevo y la Ciencia habló nada más que mediante comparaciones.

Ludwig Boltzmann, “Escritos de mecánica y termodinámica”

§. *El viento magnético de Euler*

El médico William Gilbert (1544-1603) demostró que la Tierra se comportaba como un gran imán que producía la orientación de las agujas imantadas de las brújulas (cf. Gilbert, 1600, p. 12-13). ¿Por qué la Tierra o cualquier imán actúa sobre las brújulas? Aquí aparece la respuesta metafórica de Leonhard Euler (1707-1783): así como una veleta se orienta según la dirección del viento (Figura N° 1a), una brújula se orienta según la dirección de un hipotético “viento magnético” (Figura N° 1b) que sopla del Norte magnético hacia el Sur magnético (Figura N° 1c) (cf. Euler, 1802a y b, 1822a y b):



Euler visualizó la circulación de este viento magnético esparciendo limaduras de hierro sobre un papel apoyado sobre un imán. Cada limadura se comportó como una pequeña aguja imantada o brújula formando el patrón que se observa en la Figura N° 2a (cf. Euler, 1822b, p. 293-294).

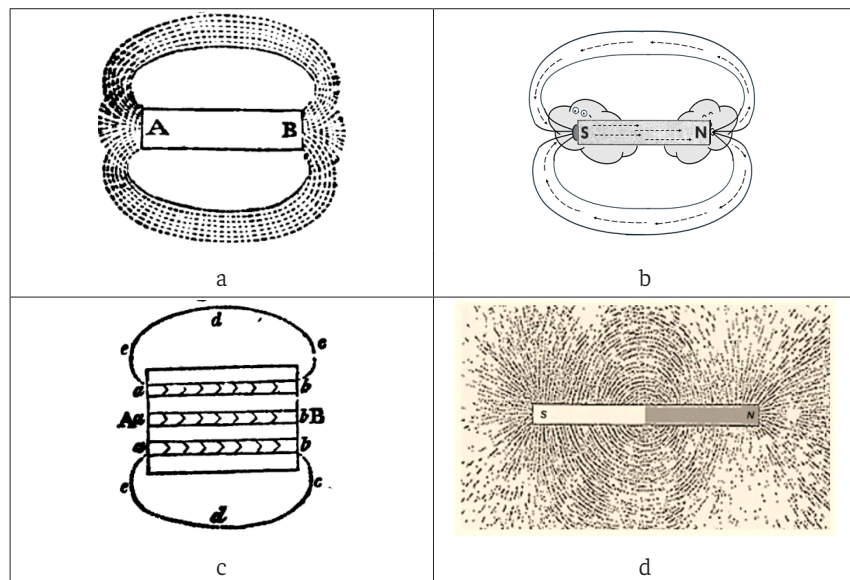


Figura N° 2: Dirección del viento magnético.

a. Dibujo del torbellino de viento magnético mediante la orientación de limaduras de hierro en torno a un imán; (Euler, 1822b, sin derechos); b. El polo Norte “sopla” y el polo Sur “aspira” el fluido magnético (elaboración propia: H.M.); c. Interpretación del imán como un “torbellino continuo” del fluido magnético que circula por fuera del imán desde el polo Norte (B) al polo Sur (A) y por dentro del imán por canales magnéticos *ab* (con válvulas >>>) que conducen el fluido del polo Sur (A) al polo Norte (B) (Euler, 1822b, sin derechos); d. Patrón de limaduras de hierro en torno a un imán (Faraday, 1855, p. 591, sin derechos, ilustración modificada con fines didácticos).

Euler sostuvo metafóricamente que lo que originaba tal orientación de las limaduras (dominio meta) era el movimiento de un sutil fluido magnético desde zonas donde se encontraba comprimido hacia zonas donde estaba enrarecido, en modo semejante a lo que sucede con el fenómeno meteorológico del viento (dominio fuente). En la Figura N° 2a

y N° 2b el fluido magnético “sale” o es “soplado” desde el polo **B** (“boreal” o Norte) y es “absorbido” o “entra”¹¹ en el polo opuesto **A** (“austral” o Sur), recorriendo internamente al imán de **A** hacia **B** en un movimiento muy rápido¹² que imagina como un “torbellino” (cf. Euler, 1822b, p. 293). La circulación por fuera del imán es la que orienta las limaduras de hierro que se comportan como pequeñas agujas imantadas de brújulas. La experiencia con limaduras también fue realizada por M. Faraday (Figura N° 2d) pero su interpretación no se centró en *qué era lo que orientaba* las limaduras sino en las líneas elásticas que las limaduras anunciaban:

Euler imagina que dentro del imán, de **A** a **B** (o de Sur a Norte) existen “canales magnéticos” que a modo de venas o vasos linfáticos de los animales son recorridas por la materia magnética en un solo sentido sin poder volver hacia atrás (Figura N° 2c): “Las venas y los vasos linfáticos en los cuerpos de los animales son tubos de una construcción semejante que contienen válvulas [simbolizadas >>>...] cuya función es dar libre paso a la sangre cuando corre de **A** a **B** e impedir que refluya de **B** hacia **A**” (Euler, 1822b, p. 298, aclaración entre corchetes propia: H.M.). Euler aclara que todo el fluido que sale por *bbb* (Figura N° 2c) llega a *aaa* por el camino *bcdea*, siendo este movimiento alrededor del imán el “torbellino de viento magnético” mencionado (cf. Euler, 1822b, p. 301-302).

11. Euler aclara que el sentido de circulación del fluido es una elección arbitraria: “Hemos distinguido estos polos en *boreal* y *meridional*, pero no se puede decir por cuál de ellos entra la materia magnética [...] todos los fenómenos producidos, sea en el uno, sea en el otro extremo, son tan semejantes, que parece imposible decidir por la experiencia esta cuestión. [...] será indiferente suponer que la materia magnética entra o sale por este o por aquel polo” (Euler, 1822b, p. 303).

12. La gran rapidez de este movimiento del fluido magnético en torno al imán es deducida por Euler. Según el médico, matemático y filósofo el sonido recorre 1200 pies en un segundo, pero aclara que si el aire fuese más elástico y menos denso la velocidad “de vibración” (Euler, 1822b, p. 65) aumentaría. Euler entiende que el éter es miles de veces más elástico y sutil que el aire y el fluido magnético —a su vez— más elástico y sutil que el éter (cf. Euler, 1822b, p. 294, p. 297, p. 298, p. 299), por lo que el torbellino magnético es muy veloz.

Atracciones y repulsiones ¿cómo se producen?

Es probable estimado lector que tu hayas jugado con imanes experimentando que al enfrentarlos por sus extremos ellos se atraen como si unas gomas elásticas invisibles actuaran o bien ellos se repelen como si un colchón invisible de resortes elásticos se interpusiera e impidiera que se acerquen. ¿Cómo se explican estos poderes invisibles y permanentes? ¿Hay algo invisible que rodea a cada imán y produce tales interacciones? Sea lo que sea, esta “atmósfera” impalpable que rodea al imán tiene propiedades “elásticas”.

La repulsión entre polos de igual nombre es explicada por Euler desde el choque de los fluidos magnéticos (Figura N° 3a y N° 3c); la atracción de polos de distinto nombre es explicada por Euler desde la tendencia de los dos imanes a formar un solo torbellino (Figura N° 3b y N° 3d):

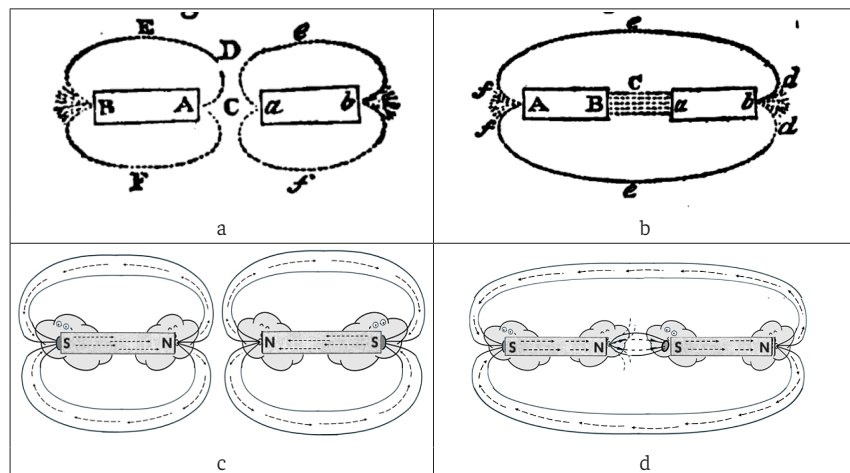


Figura N° 3: Repulsión y atracción según la metáfora del viento magnético

a. Explicación de la repulsión en base al choque de torbellinos cuando se enfrentan polos iguales (caso Sur enfrentado a Sur) (Euler, 1822b, sin derechos); b. Explicación de la atracción en base a la tendencia a formar un solo torbellino cuando se enfrentan polos distintos (Euler, 1822b, sin derechos); c. Explicación de la repulsión desde el choque de remolinos (caso Norte enfrentado a Norte o “soplar-soplar”) (elaboración propia: H.M.); d. Explicación de la atracción enfrentando polos distintos (“soplar-aspirar”) (elaboración propia: H.M.)

En la Figura N° 3a se enfrentan dos imanes **B A** y **a b** por los polos del mismo nombre **A a**, los vientos magnéticos “chocan” dando la impresión que los polos se empujan hacia afuera o se repelen: el fluido que sale de **B** y pasa por **E** llega a **D**, a su vez el que sale de **b** y pasa por **e** llega también a **D** donde ambos torbellinos comienzan a chocar y llegados a **C** la parte del viento que salió de **B** entra por **A** y la otra parte que salió de **b** lo hace por **a** (cf. Euler, 1822b, p. 303-304). Esta colisión de torbellinos explica también la repulsión en el caso de enfrentar los imanes por los polos **B b** por donde sale el fluido. En la Figura N° 3b se enfrentan dos imanes **A B** y **a b** por los polos de distinto nombre **B a**, Euler explica que el viento que sale de **B** en vez de girar hacia **A** entra por **a** y recorriendo el imán **a b** por dentro, sale por **b** y vuelve a **A** por el camino *def*. De este modo, los dos torbellinos de los imanes tienden a hacerse uno sólo dando la impresión de que los polos se atraen (cf. Euler, 1822b, p. 304).

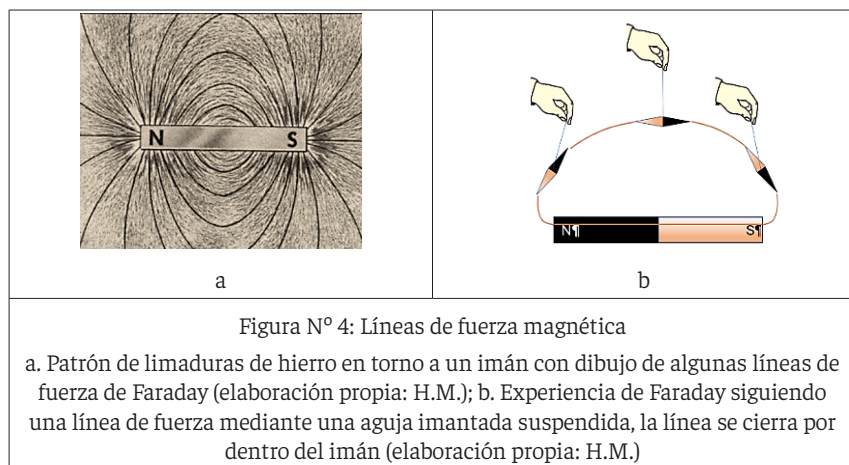
¿Cómo explica Faraday las atracciones y repulsiones desde su propia metáfora?

§. *Las fibras elásticas de Faraday*

Como anunciamos tanto L. Euler (1802a y b, 1822a y b) como M. Faraday (1855) visualizaron la atmósfera que rodea a un imán esparciendo limaduras de hierro sobre un papel colocado sobre el mismo (Figura N° 2a y N° 2d). Pero los dos vieron cosas distintas, es decir, utilizaron metáforas distintas para explicar lo que veían. Esto anuncia —como seguiremos analizando— que al observar no hay un punto de contacto fijo con la empiria, sino más bien esquemas interpositos que buscan conocer metafóricamente desde lo más familiar (cf. *infra*: *El positivismo descascarado*).

Michael Faraday (1791-1867) no se centró como Euler en *lo que producía* la orientación de las limaduras sino en las *líneas mismas* que estas limaduras seguían (Figura N° 4a y N° 4b) y

que mostraban propiedades elásticas presentándose “como finas fibras de caucho bajo tensión” (McDonald, 1964, p. 87). Faraday entendió que estas líneas tenían que ver con la fuerza magnética manifestada por los imanes y que sabiéndolas interpretar metafóricamente como “bandas” o “fibras” elásticas en tensión podían explicarse los efectos dinámicos de atracciones y repulsiones que manifiestan los imanes. Las llamó “líneas” debido a su forma de “hilos” y “de fuerza” porque, por un lado, permiten visualizar la dirección y sentido de la fuerza magnética (cf. Faraday, 1855, p. 328; 438) y, por otro, las propiedades elásticas de estas líneas permiten “visualizar” (y hasta “sentir”) la fuerza de atracción o repulsión (ver *infra*: Figura N° 5).



Influenciado por Euler (cf. Euler, 1822b, p. 293) y mediante experiencias con una aguja imantada suspendida en las inmediaciones de un imán (Figura 4b), Faraday observó que las líneas de fuerza parecen “emerger” del polo Norte y “sumergirse” en el polo Sur,¹³ siendo la aguja “constantemente tangente a la

13. Al igual que el sentido de circulación del fluido magnético, esto es absolutamente convencional —cf. Euler, 1822, p. 294 y p. 303—, podrían emerger del Sur y sumergirse en el Norte.

línea” (Faraday, 1855, p. 328). La influencia del fluido o viento de Euler sobre Faraday se observa en este carácter “dinámico” de la línea de fuerza, que “emerge” de un polo como si de un fluido se tratara y se “sumerge” en el polo opuesto (cf. Faraday 1855, p. 528), esto es, la línea de fuerza tiene una orientación: sale del Norte y va hacia el Sur por fuera del imán. Hay que notar que esto último parece ser un modo metafórico de hablar que no señala en este caso una característica sustancial de la línea de fuerza, ya que Faraday no necesita recurrir a los torbellinos de viento magnético eulerianos para explicar los fenómenos de atracción y repulsión entre los polos de los imanes. Pero sí, este modo metafórico de hablar, le permite señalar al lector que la línea está orientada y que sobre ella la fuerza magnética tiene dirección y sentido.

Al ser líneas elásticas, ellas nos permiten visualizar no sólo el sentido y dirección de la fuerza magnética, sino también su mayor o menor intensidad asociada a la concentración o densidad de líneas en determinado sector del espacio. Observemos lo dicho en la Figura 4a, en los polos la densidad de líneas —y la correspondiente fuerza magnética— es mayor que en cualquier otra región del espacio.

Las características más notables de estas líneas magnéticas son las siguientes:

- Son curvas cerradas y orientadas: emergiendo por el polo Norte, giran por el exterior del imán hacia el polo Sur en el que se sumergen ingresando al imán y recorriéndolo interiormente de Sur a Norte (terminando donde comenzaron, Figura N° 4b) (cf. Faraday, 1855, p. 395; 405; 442).
- Poseen una “elasticidad infinita” (Faraday, 1855, p. 411; 448; 449) (Traducción propia: H.M.)

- Muestran tendencia a acortarse¹⁴ (cf. Faraday, 1855, p. 427; 437) como si de bandas elásticas estiradas (o en tensión) se tratara —con lo cual se explica la atracción entre polos de distinto nombre (Figura N° 5a y N° 5b)—.
- Muestran la tendencia a no colapsar unas sobre otras cuando tienen la misma orientación, es decir, las líneas que circulan en el mismo sentido se repelen entre sí lateralmente (llenando todo el espacio en torno al imán) (cf. Faraday, 1855, p. 435-436). Esto explica la repulsión entre polos de igual nombre, tanto en el caso en el que se enfrenten los polos (Figura N° 5c y N° 5d) como en el caso en que los imanes se coloquen uno al lado del otro con los polos orientados en el mismo sentido (Figura N° 5e y N° 5f):

la repulsión de los imanes cuando se colocan uno al lado del otro, indica la tendencia lateral de separación de las líneas de fuerza magnética. El efecto debe considerarse en relación con la acumulación simultánea de las líneas de fuerza en el espacio circundante sobre cada imán, y la tendencia de cada imán a asegurar su propio medio externo independiente (Faraday, 1855, p. 436) (traducción propia: H.M.)

14. La tendencia a acortarse de las líneas de fuerza magnética tiene un tratamiento matemático contemporáneo en los estudios sobre magnetohidrodinámica (cf. Taussig Scott, 1969, p. 645-650), el plasma estelar (Hathaway, 2014; Hood, 2022; Wedemeyer, 2023) y en el diseño de máquinas eléctricas (Mörée y Leijon, 2023; Mörée, 2023). Estos tratamientos partiendo de las ecuaciones de Maxwell sobre la Fuerza de Lorentz y la Ley de Ampere plantean la “tensión elástica” de la línea de fuerza magnética como una tendencia a “enderezarse” de dicha línea y la tendencia de las líneas a repelerse entre sí mediante la idea de una “presión transversal” que actúa desde zonas de mayor concentración de líneas paralelas hacia zonas de menor concentración.

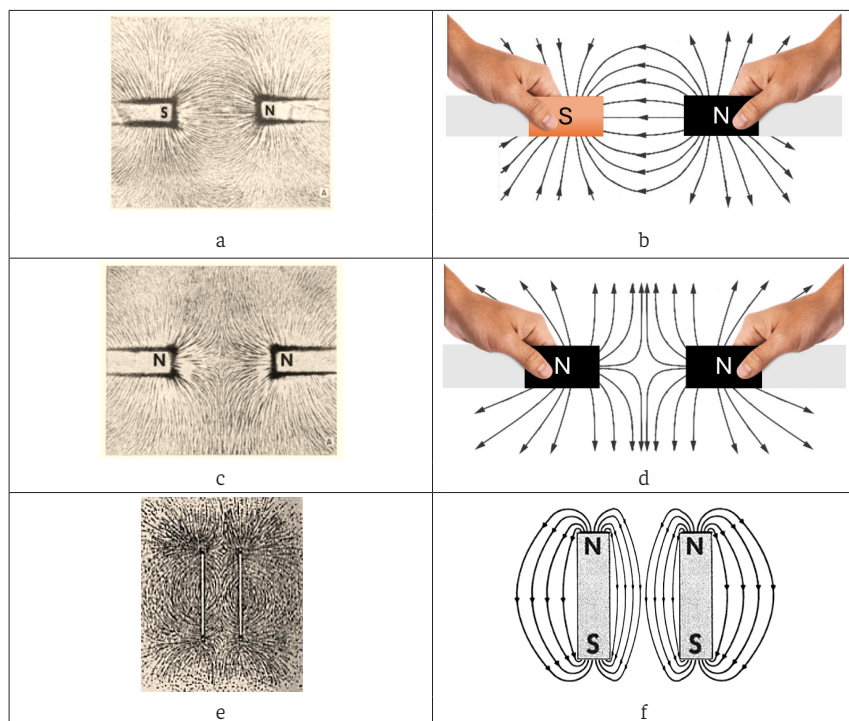
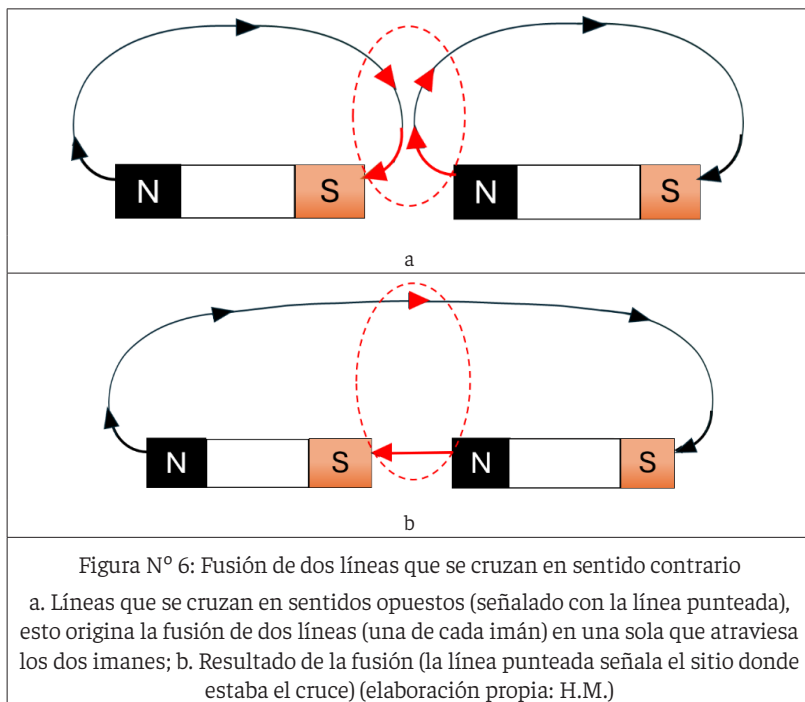


Figura N° 5: Líneas de fuerza magnética como bandas elásticas

a. Patrón de limaduras entre polos de distinto nombre (DAAF, 1951, p. 13, sin derechos); b. Líneas elásticas de Faraday atrayendo polos de distinto nombre (elaboración propia: H.M.); c. Patrón de limaduras entre polos del mismo nombre (DAAF, 1951, p. 14, sin derechos); d. Líneas elásticas de Faraday repeliendo polos del mismo nombre enfrentados (elaboración propia: H.M.); e. Patrón de limaduras en torno a dos imanes puestos en paralelo con los polos orientados en el mismo sentido (Faraday, 1855, sin derechos); f. Líneas elásticas de Faraday repeliendo polos del mismo nombre en paralelo (notar la compresión de las líneas entre los imanes) (elaboración propia: H.M.)

- Muestran la propiedad de “fundirse” entre sí cuando tienen sentidos distintos (Faraday llama a este fenómeno “coalescencia”, cf. Faraday 1955, p. 395) (Figura N° 6): “Las líneas de fuerza de diferentes imanes en posiciones favorables entre sí se fusionan [...] La coalescencia [es la] unión [de dos líneas] en un circuito común (Faraday,

1855, p. 395, aclaración entre corchetes y traducción propias: H.M.), esto explica que las líneas que salen del Norte de un imán se fundan con las que entran en el Sur de un segundo imán cuando las condiciones son favorables. La Figura N° 6a muestra dos líneas que se cruzarían en sentido contrario al acercarse los imanes por los polos de distinto nombre, esto origina una reconexión representada en la Figura N° 6b, siendo el resultado que a partir de dos líneas se forma una sola: notar que las líneas que salen del Norte del imán de la derecha en vez de curvarse para volver a entrar en el Sur del mismo imán se han fusionado o reconectado con las líneas que entran en el Sur del imán de la izquierda... Es decir, dos líneas cerradas —una de cada imán— forman una sola línea cerrada que atraviesa los dos imanes (se supone que hay una reconfiguración drástica en un período muy corto de tiempo):

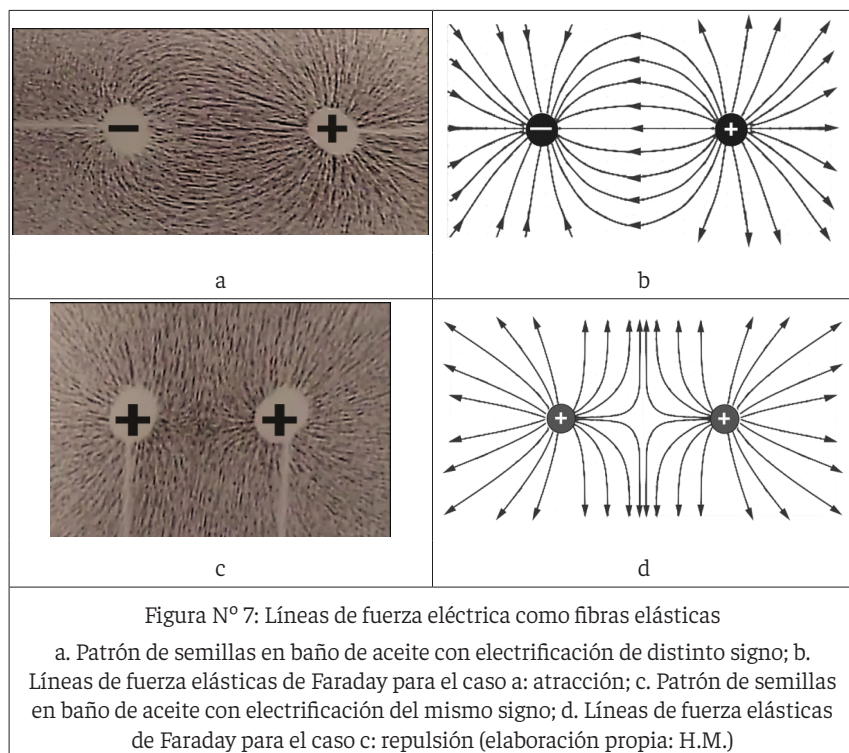


- Muestran la propiedad de no cruzarse entre sí: consecuencia del repelerse lateralmente cuando tienen el mismo sentido (Figura N° 5d y N° 5f) o de fundirse cuando tienen distinto sentido (Figura N° 6a y N° 6b).

Dibujando varias de estas líneas (Figura N° 4 y N° 5) se observa que su densidad o concentración nos da una idea de la fuerza magnética que claramente resulta más intensa cerca de los polos magnéticos.

Estas líneas de fuerza poseen entonces una tensión longitudinal como la tensión de una banda elástica y una presión transversal que evita que las líneas colapsen unas sobre otras cuando tienen el mismo sentido.

En el capítulo 6 veremos los fenómenos electrostáticos (cf. *infra: Camino metafórico a la ley de Coulomb*) allí veremos que los cuerpos pueden adquirir una propiedad llamada “carga eléctrica”, caracterizada por los signos positivo o negativo, dándose el fenómeno que consiste en que cargas de distinto “signo” se atraen y cargas de igual “signo” se repelen. Faraday explicó también los fenómenos de atracción y repulsión en el caso de la electricidad estudiando las líneas de fuerza también en este ámbito (cf. Faraday, 1855, p.409-415) (Figura 7) señalando que básicamente no había diferencias con las líneas magnéticas: como éstas mantenían también la tendencia a acortarse, a repelerse lateralmente cuando circulaban en el mismo sentido y a no cruzarse. La diferencia fundamental con las líneas de fuerza magnéticas es que las eléctricas no son cerradas, sino que se inician (o emergen) en las cargas positivas y finalizan (o desaparecen) en las cargas negativas.



De este modo Faraday también logró explicar los fenómenos de atracción entre cargas de distinto signo y los de repulsión entre cargas de igual signo:

Por ensayo y error, Faraday dedujo que las líneas de campo electromagnético transmiten una tensión a lo largo de las líneas de campo [la posteridad llamó líneas “de campo” a las líneas de fuerza] y una presión perpendicular a las líneas de campo. A partir de su conocimiento empírico de la forma de las líneas de campo, pudo comprender los efectos dinámicos de esos campos basándose en analogías simples con cuerdas y fibras (Belcher y Olbert, 2003, p. 220) (traducción y aclaración entre corchetes propias: H.M.)

James Clerk Maxwell (1831-1879) sigue estas ideas de Faraday, entendiendo que las líneas conllevan una tensión longitudinal con una presión transversal que permite explicar todos los efectos dinámicos:

Si observamos las líneas de fuerza entre dos imanes, como lo indican las limaduras de hierro, veremos que siempre que las líneas de fuerza pasan de un polo a otro, hay atracción entre esos polos; y donde las líneas de fuerza de los polos se evitan entre sí y se dispersan en el espacio, los polos se repelen entre sí [...] Por tanto, parece que la tensión en el eje de una línea de fuerza magnética es una tensión, como la de una cuerda [...] combinada con una presión [...] en la dirección ecuatorial¹⁵ (Maxwell, 1890a, p. 455) (traducción propia: H.M.)

Es interesante observar que si bien Faraday conserva el vocabulario de Euler, en el sentido de que las líneas parecen “emerger” del polo Norte (o de las cargas positivas en el caso eléctrico) como el fluido euleriano y “sumergirse” en el polo Sur (o en las cargas negativas) como el mismo fluido de Euler, “El resultado [dinámico] ocurriría ya sea que se supusiera que las líneas físicas de fuerza consistirían en un estado dinámico o estático” (Faraday, 1855, p. 437, traducción y aclaración entre corchetes propias: H.M.)

Atracción imán-hierro. Limaduras como agujas imantadas

¿Por qué el imán atrae objetos de hierro? ¿Por qué las limaduras en torno a un imán se comportan como agujas imantadas? Para

15. Maxwell se pregunta qué explicación mecánica podemos dar a esta presión lateral entre líneas “La explicación que más fácilmente se nos ocurre es que el exceso de presión en la dirección ecuatorial surge de la fuerza centrífuga de los vórtices o remolinos en el medio que tienen sus ejes en direcciones paralelas a las líneas de fuerza.” (Maxwell, 1890a, p. 455, traducción propia: H.M.)

responder estas preguntas daremos dos pasos. El primer paso es una teoría sobre el imán: Faraday observó que si partía un imán (mostrado en la Figura N° 8a) por la mitad (Figura N° 8b) obtenía dos imanes independientes (Figura N° 8c) y si seguía partiéndolo a su vez estos imanes obtenían otros tantos imanes independientes:

Si se examina con limaduras una barra magnética delgada [Figura N° 8a ...] se encontrará que presenta el conocido y hermoso sistema de fuerzas, perfectamente simple en su disposición. Si se parte por la mitad, sin separarla, y se vuelve a examinar, se ve cómo, por la destrucción de la continuidad, se interfiere con la transmisión de la fuerza en el ecuador, y muchas de las líneas que antes estaban dentro aparecen externamente [Figura N° 8b...] Separando gradualmente las dos mitades y continuando examinando el curso de las líneas de fuerza [Figura N° 8c...], es hermoso observar cómo [...] se convierten en dos imanes separados e independientes. Se puede repetir el mismo proceso hasta que haya muchos imanes en lugar de uno. (Faraday, 1855, p. 396) (traducción propia: H.M.)

Partiendo un imán **S N** (Figura N° 8a), en la zona de quiebre aparece un binomio de polos **N S** (Figura N° 8b), dando origen a dos imanes **S N** y **S N** (Figura N° 8c). Repitiendo este proceso muchas veces, es decir partiéndolo el imán original **S N** en muchas partes, se obtienen otros tantos imanes de la misma orientación polar **S N** (cf. Faraday, 1855, p. 396). Esto sugiere que el imán **S N** estaría formado por partículas que se comportan como “pequeños magnetos”,¹⁶ los cuales estarían alineados con la orientación **S N** como se observa en la Figura N° 8d (en la que cada molécula se representa

16. Faraday no se queda con esta teoría sobre el imán, sino que siguiendo a André-Marie Ampère —el cual sigue a Hans Christian Oersted— entiende que las propiedades magnéticas del imán son producidas “por la existencia de corrientes eléctricas concéntricas en ellos, dispuestas alrededor del eje del

como un pequeño imán). Si a este “modelo de imán” lo partimos, por ejemplo, en 6 pedazos como se observa en la Figura N° 8e, obtenemos 6 imanes **S N**:

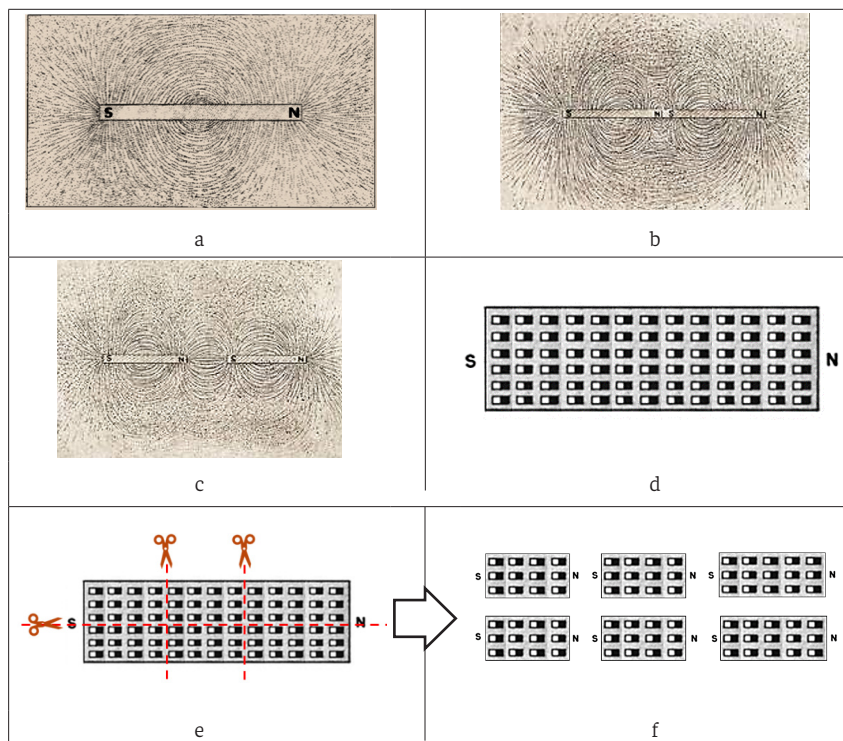


Figura N° 8: Partición de un imán y modelo de imán

a. Patrón de limaduras en torno a un imán (Faraday, 1855, sin derechos); b. Se parte en dos el imán, en la zona de quiebre aparecen dos polos (Faraday, 1855, sin derechos); c. De la partición en dos se obtienen dos imanes con la misma orientación polar del original (Faraday, 1855, sin derechos); d. Modelo de un imán: constituido por pequeños magnetos elementales (elaboración propia: H.M.); e. Partición del modelo de imán en 6 pedazos dando origen a lo mostrado en f, 6 imanes de la misma orientación polar que el original (elaboración propia: H.M.)

imán” (Faraday, 1844, p. 137). Seguiremos viendo las relaciones profundas entre electricidad y magnetismo en el Capítulo 6.

El segundo paso es el planteo de un modelo de imantación: se sabe que exponiendo una barra de hierro a la acción conveniente de un imán, la barra queda imantada. Es como si la barra de hierro estuviese compuesta por pequeños magnetos desorientados, es decir sin una orientación magnética preferencial (Figura N° 9a). La acción de un imán externo puede reorientar a esos pequeños dipolos (fenómeno llamado inducción, Figura N° 9b) en una orientación preferencial, quedando la barra de hierro con una magnetización remanente (cf. Faraday, 1855, p. 108). ¿Qué papel juegan las líneas elásticas de Faraday es este proceso? Justamente el modelo de fibras elásticas nos permite visualizar como esa “tensión” de la línea entre el Norte del imán y el Sur de los magnetos elementales los reorienta en una dirección preferencial:

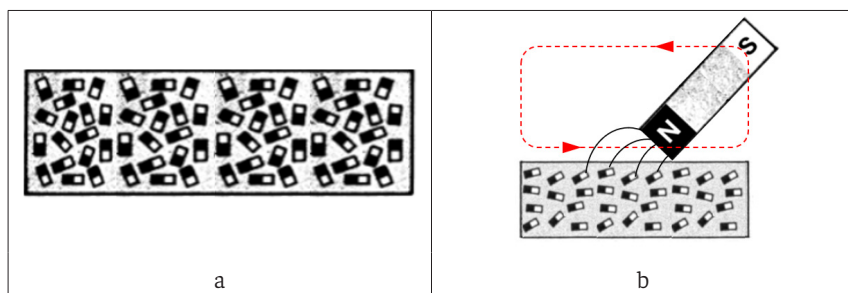


Figura N° 9: Modelo de imantación

a. Hierro desimantado, modelo de pequeños magnetos desordenados (elaboración propia H.M.); b. Proceso de imantación del hierro, la línea punteada muestra el movimiento del imán para lograr que los magnetos elementales sean reorientados, tal reorientación se explica desde el modelo de bandas elásticas de Faraday (elaboración propia H.M.)

Finalmente, desde el modelo de magnetos elementales para el hierro y desde la concepción de las líneas de fuerza de Faraday como fibras de caucho elásticas, podemos comprender el fenómeno de reorientación de tales magnetos elementales que un imán produce en un pedazo de hierro (inducción magnética) con la consiguiente atracción de dicho objeto de hierro (ya sea desde el polo

Norte —Figura N° 10a— o desde el polo Sur —Figura N° 10b—). También ahora podemos comprender el por qué las limaduras de hierro bajo la acción de líneas de fuerza magnéticas se comportan como pequeñas agujas imantadas (Figura N° 10c):

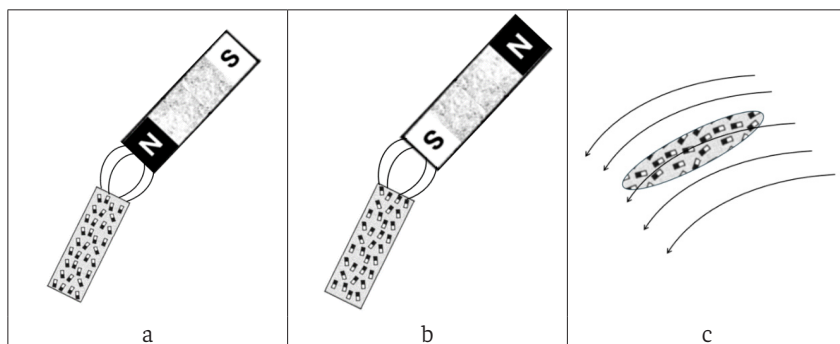


Figura N° 10: Fenómeno de reorientación de magnetos elementales por las líneas de fuerza magnéticas

a. Explicación de la atracción del hierro por un polo Norte; b. Explicación de la atracción del hierro por un polo Sur; c. Comportamiento de la limadura de hierro bajo la acción de líneas de fuerza como una pequeña aguja magnética que se orienta conforme a la orientación de la línea (no se consideraron las líneas de fuerza de la propia limadura) (elaboración propia: H.M.).

Creemos oportuno señalar aquí que de la orientación de las semillas siguiendo las líneas de campo eléctrico mostrada en Figura N° 7a y N° 7c se explicará en el capítulo 6 (cf. *infra: Camino metafórico a la ley de Coulomb*) de modo semejante a lo visto respecto de la orientación de las limaduras siguiendo las líneas de campo magnético.

§. De metáfora en metáfora va creciendo el conocimiento

La posteridad utilizó esta didáctica del modelo de fibras de caucho o bandas elásticas en forma explícita y la “usina de ideas” que las

mismas generaron.¹⁷ Faraday creó una metáfora “viva”, es decir, frente a ese hecho intrigante en torno al imán o a las cargas eléctricas, pudo comenzar a entenderlo o a darle ciertos contornos conceptuales a través del traslado metafórico desde lo conocido: “hilos” o líneas dotadas de elasticidad infinita (Faraday, 1855, p. 411, p. 448 y p. 449). Por otro lado, con el uso reiterado del nombre “líneas de fuerza”, se produce la “muerte” de la metáfora, es decir, el olvido del origen metafórico del concepto: de ahora en adelante, en las inmediaciones de un imán hay “líneas de fuerza”, expresión que los sucesores de Faraday adoptaron (como James Clerk Maxwell).

Notemos que lo recién referido es similar a lo que sucede — por ejemplo— cuando hablamos de las “patas” de una mesa sin advertir que tal denominación es fruto de un traslado metafórico funcional desde las patas de los animales. El primero que nombró los elementos que sostenían la mesa con el nombre de “patas” hizo metáfora “viva” (unió el dominio meta de los muebles con el dominio fuente de los animales), luego con el uso, esa metáfora se lexicalizó, es decir comenzó a formar parte de nuestro léxico y olvidamos su origen metafórico.

Volviendo a la metáfora de Faraday, es interesante que ese “dominio meta” (inicialmente desconocido) —en donde el científico nombra y conceptualiza metafóricamente las líneas formadas por las limaduras de hierro en torno al imán (Figura N° 4 y N° 5) o por las semillas en torno a las cargas eléctricas (Figura N° 7) como “líneas de fuerza”— se convierte en punto de partida para James Clerk Maxwell que continúa su estudio. Maxwell parte de estas “líneas” conceptualizadas metafóricamente como

17. En el ámbito del electromagnetismo ver por ejemplo: Cross, 1989; Kovanen, 2013, p. 126; Dori & Belcher, 2005, p. 251.256; Roller & Blum, 1990, p. 1064. En el ámbito de los estudios del plasma ver por ejemplo: Hathaway, 2014; Hood, 2022; Wedemeyer, 2023, p. 37. En el diseño de máquinas eléctricas ver Mörée & Leijon, 2023, p. 1; 2; 8 y Mörée, 2023, p. 43; 53; 54; 58.

“líneas de fuerza”, y si bien para este científico ellas forman parte de un “dominio meta” —pues las quiere seguir desentrañando—, el mismo ya tiene terreno ganado gracias a la metáfora previa y complementaria de Faraday.

Como decíamos, la metáfora opera en el límite de nuestra potencia conceptual y permite ir ampliando ese horizonte. Faraday amplió el horizonte conceptual —el suyo y el de sus colegas— gracias a esa metáfora y tal horizonte quedó “a la espera” de una nueva metáfora que lo siguiera expandiendo. De metáfora en metáfora va creciendo nuestro conocimiento: cuando Maxwell visualizó las ahora familiares “líneas de fuerza” de Faraday con intención de profundizar en su conocimiento, creó una nueva metáfora “viva” al visualizarlas como “líneas de corriente” de un líquido imaginario en movimiento (cf. *infra*: *Metáfora de los flujos de agua de Maxwell*). Así expandió nuevamente el horizonte conceptual propio y de sus colegas. Hay una progresión en el conocimiento al pasar de una metáfora a la siguiente. Hay que decir que Faraday conoce la representación de la naturaleza física de la acción magnética como el movimiento de un fluido pero su genio experimental deberá esperar al genio matemático de Maxwell que continuará el estudio:

Existen actualmente dos, o más bien tres hipótesis generales sobre la naturaleza física de la acción magnética.

Primero, el del éter, que lleva consigo la idea de flujos o corrientes, y esto Euler lo ha expuesto de manera sencilla al filósofo no matemático en sus *Letters* [*Cartas a una princesa de Alemania*]; en esa hipótesis se supone que el fluido magnético o éter se mueve fluyendo a través de los imanes, y también del espacio y las sustancias que los rodean (Faraday, 1855, p. 528) (traducción y aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Derribando la misteriosa acción a distancia

Hay un salto conceptual muy importante en esta época fundacional, el hecho del polo de un imán atrayendo pequeños trozos de hierro podría interpretarse todavía como una misteriosa “acción a distancia” (que la genialidad de Newton todavía parecía admitir para la atracción entre masas como veremos). Pero la visualización de las “líneas de fuerza” en torno al imán comenzaban a hacer intuir la presencia de algo “interpósito” entre el polo magnético y el trozo de hierro, que diluía la misteriosa “acción a distancia” y daba lugar al concepto de “campo”. Cabe destacar que por esta época sólo Michael Faraday, William Thomson (Lord Kelvin) y James Clerk Maxwell se inclinaban por la teoría de campos y no —como la mayoría y bajo la autoridad de Newton— por la de las “acciones a distancia”. Faraday —que también analizó la gravedad bajo la metáfora de líneas de fuerza— comenta que la postura sobre la acción a distancia le parece “un absurdo tan grande que creo que ningún hombre que tenga en materias filosóficas una facultad competente de pensar puede caer en él” (Faraday, 1855, p. 532).

Derribando la necesidad del éter

La inocente metáfora de las “líneas de fuerza” como “hilos elásticos” no sólo tiraba abajo la misteriosa “acción a distancia” sino que también sugería a Faraday que la luz sería una vibración de estas líneas, con lo cual el “éter luminífero” también perdía entidad. La elasticidad de las líneas de fuerza permitía entenderlas como cuerdas vibrantes soportes de fenómenos ondulatorios que clásicamente se entendían transmitidos por la vibración de un hipotético éter. En 1845 Faraday había demostrado que la luz interactuaba con los campos magnéticos (cf. Faraday, 1855, p. 1ss) esta interacción entre luz y magnetismo era muy sugerente y lo llevó a una conclusión probable, el éter luminífero podría ser reemplazado por las líneas de fuerza:

El punto que se pretendía exponer para la consideración de los oyentes era si no era posible que las vibraciones que en cierta teoría se supone que explican la radiación y los fenómenos radiantes no pudieran ocurrir en las líneas de fuerza que conectan las partículas [...] una noción que, en la medida en que se admite, prescindirá del éter, que, desde otro punto de vista, se supone que es el medio en el que tienen lugar estas vibraciones. (Carta a Richard Philips en Faraday, 1855, p. 447) (traducción propia: H.M.)

Observamos que la metáfora que conceptualiza lo que rodea a un imán como un conjunto de líneas de fuerza o “hilos elásticos” tendrá una consecuencia cognoscitiva fundamental en los estudios posteriores sobre la luz, las radiaciones electromagnéticas en general y los actuales estudios de plasma estelar (cf. Hathaway, 2014; Hood, 2022; Wedemeyer, 2023). Faraday intuía que esta representación mental metafórica podría ser vehículo de nuevos descubrimientos: “puede ayudar a conducir la mente correctamente hacia nuevas concepciones de la naturaleza física de la fuerza y al reconocimiento de los posibles efectos, nuevos o antiguos, que puede producir” (Faraday, 1855, p. 328, traducción propia: H.M.).

La desmaterialización de la materia

Un salto conceptual inmenso fue dado por Faraday al pensar que las líneas de fuerza no son “secundarias” respecto de las partículas (sean masas, cargas o polos magnéticos, que serían “primarias”), sino que concibe —inspirado en el átomo de R. Bosovich (1711-1787)— que las líneas de fuerza no “requieren” de las partículas materiales, que serían reemplazadas por “centros de fuerza” inmatrimales:

Ustedes son conscientes de la especulación que hace algún tiempo expuse respecto de esa visión de la naturaleza de la materia que considera sus átomos últimos como centros de fuerza, y no como tantos pequeños cuerpos rodeados de fuerzas (Faraday, 1855, p. 447) (subrayado y traducción propias: H.M.)

Respecto de estos centros de fuerza: “sus núcleos son casi infinitamente pequeños y la fuerza que tienen, es decir, su elasticidad, es casi infinitamente intensa” (Faraday, 1855, p. 449, traducción propia: H.M.), lo cual da la sensación de impenetrabilidad. Es decir, lo único existente son líneas de fuerza y las partículas “materiales” son una ilusión: “de hecho, se supone que la partícula existe sólo por estas fuerzas, y se manifiesta donde ellas están [como centro de fuerza]” (p. 447, traducción y aclaración entre corchetes propia: H.M.). Esto introduce una importante idea en la “filosofía de la materia”, ya que la respuesta a la pregunta ¿qué es la materia? no se respondería cabalmente con la idea de un estar constituida por pequeñas partículas “materiales”.¹⁸ Invitamos al lector-lectora interesado en este tema a dirigirse al Anexo 4: *Leibniz, Boscovich y Faraday: el paso de las partículas físico-materiales newtonianas a los puntos metafísicos inmateriales*.

§. Metáfora de los flujos de agua de Maxwell

El aporte de Maxwell al estudio matemático de estas “líneas” fue producido mediante un traslado metafórico: las imaginó como si fueran las “líneas de corriente” de un líquido en movimiento, esto es, las líneas o trayectorias que una pequeña partícula de líquido

18. Adelantamos que la “filosofía de la materia” tendrá un capítulo importante con Heisenberg y la idea de una constitución matemática de la materia (cf. *infra*: Capítulo 11: *Marco metafísico de la ciencia contemporánea: la metáfora platónica del artesano leída por Heisenberg y la relación matemática-materia*).

sigue llevada por la corriente del líquido. Esta metáfora de los líquidos en movimiento permitió a Maxwell poder “revestir” a las líneas de fuerza de una “matemática” aportada desde la hidrodinámica (terreno que ya había sido conquistado matemáticamente).

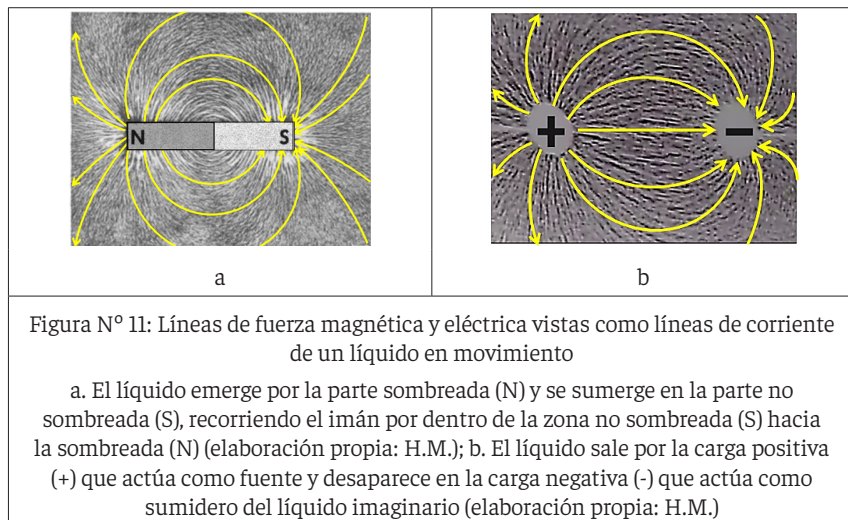


Figura N° 11: Líneas de fuerza magnética y eléctrica vistas como líneas de corriente de un líquido en movimiento

a. El líquido emerge por la parte sombreada (N) y se sumerge en la parte no sombreada (S), recorriendo el imán por dentro de la zona no sombreada (S) hacia la sombreada (N) (elaboración propia: H.M.); b. El líquido sale por la carga positiva (+) que actúa como fuente y desaparece en la carga negativa (-) que actúa como sumidero del líquido imaginario (elaboración propia: H.M.)

Las líneas —entonces— son vistas como si fueran las “líneas de corriente” de un líquido en movimiento. En la Figura N° 11a este líquido saldría atravesando la superficie del imán por el lado izquierdo (zona sombreada marcada con la letra *N* de Norte magnético) y entraría atravesando la superficie del imán por el lado derecho (zona sin sombrear marcada con la letra *S* de Sur magnético). En la Figura N° 11b este líquido saldría de la *carga positiva* (indicada con el signo +) que se comporta como una *fente* desde donde mana el líquido fluyendo hasta la *carga negativa* (indicada con el signo -) donde este desaparece, es decir se comporta dicha carga como un sumidero por donde se drena el líquido. Estudiando, entonces, en función de las ecuaciones o modelos ya adquiridos en el ámbito de la hidrodinámica (Maxwell, 1890a, p. 175-177), podían sacarse conclusiones en el ámbito de los fenómenos magnéticos y

eléctricos (p. 177-178) para luego conducir experimentos que permitieran corroborar —o no— las intuiciones iniciales. Invitamos al lector-lectora interesado en este tema a dirigirse al Anexo 5: *Revestimiento matemático de la metáfora hídrica por parte de Maxwell*. La experimentación corroboró las expectativas de Maxwell y hoy son patrimonio de la Física las llamadas “4 ecuaciones de Maxwell” que condensan en forma simétrica y “bella” todo lo conocido acerca de la electricidad y el magnetismo (cf. *infra* Esquema N° 6: *Metáfora y matemática revistiendo y dando inteligibilidad a los hechos intrigantes*).

Este fluir imaginario, metafórico, entró en el vocabulario técnico de la matemática y de la física (donde se convirtieron en metáforas muertas), las dos primeras ecuaciones de Maxwell hacen referencia al “flujo” de las líneas de campo.¹⁹

19. Este flujo fue estudiado matemáticamente por Carl Friedrich Gauss que imaginó el “flujo” o el “fluir” de un campo magnético o de un campo eléctrico a través de superficies imaginarias.

IV. ECONOMÍA-SIMPLICIDAD-SIMETRÍA-BELLEZA

La idea de simplicidad, esto es, con poco decir mucho, y de cierta simetría entre los fenómenos de la naturaleza, es entendida actualmente por los científicos como algo “bello”. Es interesante que la literatura aspire a la belleza por el camino de la metáfora y que la física llegue a formular estas ecuaciones bellas también por el mismo camino metafórico. El conocido libro de Física para estudiantes de Ingeniería de Halliday y Resnick dice respecto de las ecuaciones bellas de la Física: “Todas las ecuaciones de la física que sirven, como estas [se refiere a las 4 de Maxwell], para correlacionar experimentos en una vasta área y para predecir nuevos resultados tienen en sí una cierta belleza que puede ser apreciada, desde un nivel estético, por quienes las entienden” (Halliday & Resnick, 1977,²⁰ p. 1347-1348, aclaración entre corchetes propia: H.M.). Esta importante frase del libro de Halliday y Resnick en su edición de 1977 desaparece en la versión del mismo libro (Física II) de 1999 donde se suma un tercer autor (cf. Halliday, Resnick & Krane, 1999²¹).

20. Puede sorprender lo “viejo” del libro, ver al respecto en *infra*: *¿Libros de texto viejos?* en Capítulo 8.

21. Cf. *infra*: *¿Libros de texto viejos?* en Capítulo 8.

V. REFLEXIÓN SOBRE LOS EJEMPLOS ¿QUÉ ES METAFORIZAR?

§. *Metaforizar es crear semejanzas que no existían*

¿Qué no existían o que no habían sido aun descubiertas?

Los ejemplos vistos nos conducen a entender que metaforizar es ver con la mente semejanzas (cf. Aristóteles, 2004, p. 100) que no existían, similitudes entre cosas que aparentemente no tenían nada que ver entre sí (como el desviarse del camino y tener conductas aberrantes). Y gracias a este “ver dos cosas en una” (Magnasco, 2019), una abstracta desde otra concreta (por ejemplo las líneas de fuerza como líneas de corriente líquida), logramos alcanzar contacto mental con lo más abstracto.

La concepción de ciencia que normalmente tenemos en mente nos lleva a inclinarnos más por un descubrir (lo que ya existía) que por un crear (lo que aún no existía). ¿Podremos tolerar que el hombre (el ser humano) sea creador de la realidad en tanto establece conexiones que los hechos habilitan pero no contienen?

Cubriendo vacíos desde el horror vacui

Metaforizar es trasladar un esquema desde lo conocido para cubrir un “vacío” semántico o hermenéutico. Al encontrarnos con hechos intrigantes o con fenómenos que no tenemos cómo nombrarlos o describirlos, podemos decir que ellos hacen un “vacío” que nos acicatea para lograr una inteligencia que lo cubra. Y el camino para hacerlo es el recurso a la metáfora.

Así metaforizar es el recurso cognoscitivo que surge frente a estas situaciones, hechos o fenómenos que producen “vacíos”

de predicación o explicación o de inteligencia. Utilizo la palabra “vacío” porque desde la imagen del “*horror vacui*” (tendencia a llenar un vacío) puedo hacer referencia a ese acicate que mueve a la búsqueda de un nombre o de una explicación que lo cubra.

La idea del “vacío semántico” como falta de una palabra que de materialidad y sentido a determinado fenómeno o la idea de “vacío hermenéutico” como falta de explicación para hechos o fenómenos que nos resultan desconocidos / intrigantes / como “cabos sueltos” / como a primera vista “incoherentes”, entendemos que es original. Aquí aparece junto con el vacío un acicate intelectual que impulsa un proceso de búsqueda, de procurar llenar ese vacío en una especie de “*horror vacui*”.

Precisamos que la idea de “vacío semántico/hermeneutico es original en tanto se corresponde con la idea de “*horror vacui*”, es decir, no nos referimos a un vacío de interpretación como mera “falta de explicación” o como “laguna” u omisión de una interpretación que todavía no se hizo.²²

§. Metaforizar es un alumbramiento cognoscitivo gozoso

Desde cualquiera de los ejemplos de metáforas que hemos visto, podemos comprender —como dicen Lakoff & Johnson (2007)— que metaforizar es “experimentar” un tipo de cosa en términos de otra (como experimentar esas líneas de fuerza como líneas de una corriente líquida, o experimentar que cierta conducta es como un rizo); es “inteligir creativamente” lo impalpable desde lo palpable, es “ver” dos cosas en una.

Todas estas acciones concomitantes con el acontecer metafórico, que hemos caracterizado como un *experimental*, un *inteligir* y un *ver* en acto, nos conducen a advertir la presencia de una

22. De este modo —como omisión de explicación— emplean la expresión “vacío hermenéutico”: Schwartzmann (2000, p. 265), Jaimez (2004, p. 11), Calles Hidalgo (2012, p. 19.210); etc.

operación metafórica. Así, la metáfora “es durante” esta operación. Metafóricamente podríamos ilustrarlo diciendo que la metáfora no *es* acompañada por el “descanso” del espíritu sino —por el contrario— ella *es* acompañada por su “tensión” activa y gozosa. Puede sorprender el calificativo de “gozosa”, pero todo alumbramiento de conocimiento y de *ser* logrado por la actividad metafórica produce un gozo, que por estar vinculado a la belleza, se lo llama “estético”. El gozo estético no es algo ausente en ciencia, al respecto dice Marina:

La belleza es un término usado con frecuencia por matemáticos y físicos. Paul Dirac, uno de los creadores de la Física Cuántica [...] consideraba que la belleza matemática²³ era una garantía de verdad. Ciertamente, es difícil definir esa belleza. Uno de los rasgos es la simplicidad, la economía de medios; otro es su carácter sorprendente, el sentimiento de reorganización brusca de múltiples datos dispersos; otro, su capacidad de sugerir más ocurrencias. Cuento todo esto para corregir la idea ramplona, utilitaria y pesetera que se tiene ahora de la ciencia. (Marina, 1999, párr. 12) (nota al pie propia: H. M.)

Es decir, más allá de las ideas sobre el por qué alguien se dedica a investigar (mejorar la vida de los hombres, etc.) hay que vislumbrar una especie de gozo encontrado en el conocer, en el ejercicio del metaforizar ampliando el horizonte conceptual y el disfrute de un mundo que se transfigura y nos sorprende. Cabe aquí decir que Aristóteles ya asoció la capacidad de conocer en el sentido de “ver” o “captar” lo semejante como algo que “arraiga en lo más

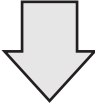
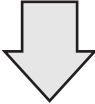
23. Mostraremos que esta belleza matemática tiene base en una belleza metafórica, es el revestimiento final de un proceso que se inicia con un “vacío” o “pensamiento silencioso” (Korzybski, 1951, cf. *infra*: Capítulo 10) que se resuelve en una imagen metafórica. Esta imagen se revestirá de caracteres matemáticos transformándose —no sin pérdida— en modelo matemático.

profundo de nuestra naturaleza” (Aristóteles, 2004, p. 39) y que tiene que ver con un gozo estético que el hombre encuentra en las tareas de *mímesis* (p. 39). *Mímesis* es una palabra griega que podríamos traducir como imitación transformadora.

§. *Metaforizar es predicar impertinente y erróneamente*

Podemos colegir coincidiendo con Paul Ricœur que la metáfora es una “predicación impertinente” (Ricœur, 2006, p. 23) en cuanto que predica de un sujeto algo inaudito (hasta el momento) y también coincidir con Walker Percy que afirma metaforizar es producir un error fecundo: “Podría ser útil examinar [...] esa característica particular de la metáfora [...] que es “incorrecta” —afirma que una cosa es otra cosa— y, además, que su belleza a menudo parece proporcional a su incorrección o extravagancia” (Percy, 1958, p. 81) (traducción propia: H.M.).²⁴ Estas afirmaciones tienen su ejemplificación en lo visto, construimos una tabla sinóptica para refrescarlo:

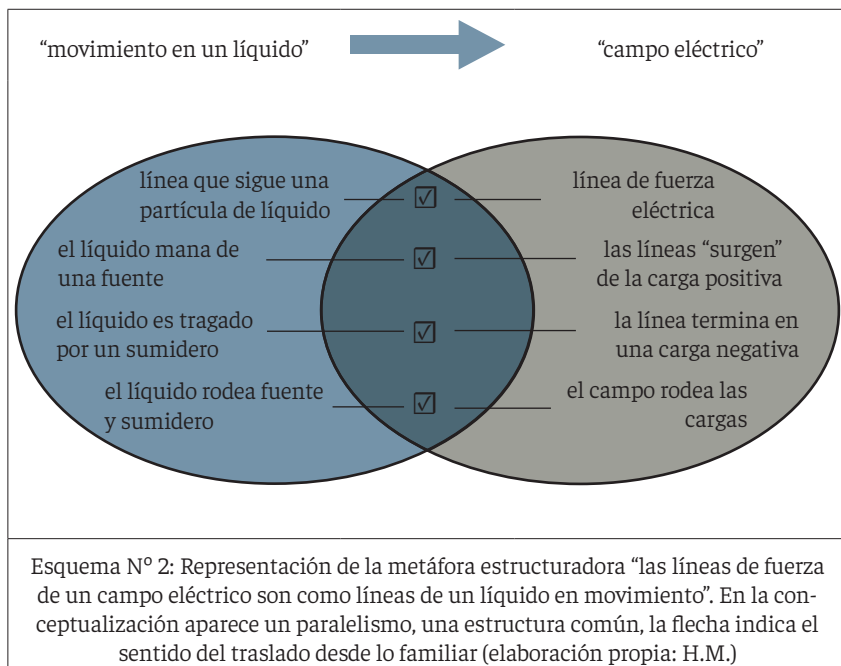
24. No hay traducción al castellano de “*Metaphor as Mistake*” de Percy, las traducciones son propias: H.M.

Predicación impertinente	Dominios diversos que la predicación impertinente conecta (predica lo concreto de lo abstracto)		Tipo de metáfora y fisonomía conceptual lograda
	Dominio fuente (predicado)	Dominio meta (sujeto)	
Esos pensamientos o actitudes son saltos de una cabra (caprichosos)	Animal	Actitud mental	Sustancializadora del pensamiento, le asigna la imagen de los saltos de una cabra
Esa conducta se sale del camino	Pedestre	Actitud conductual	Sustancializadora de la conducta, le asigna forma de un móvil que se sale de su senda
Una nación es una familia de padre estricto	Familia	La nación	Estructuradora de la nación, le asigna estructura de familia: padre estricto, hijos sometidos
Una nación es una familia de padres protectores	Familia	La nación	Estructuradora de la nación, le asigna estructura de familia: padres protectores, hijos protegidos
Una discusión es una guerra, un combate	Guerra, combate	La discusión	Estructuradora de la discusión, le asigna estructura de combate, sustancializadora de argumentos, preguntas, objeciones como armas
Una discusión es una construcción	Construcción	La discusión	Estructuradora de la discusión, le asigna estructura de construcción, sustancializadora de argumentos, preguntas, objeciones como elementos de construcción
Las líneas de fuerza eléctrica son líneas de corriente de un líquido	Hídrico	Eléctrico	Estructuradora del fenómeno eléctrico, le asigna estructura de líquido en movimiento, sustancializadora de cargas positivas como fuentes y cargas negativas como sumideros (cf. <i>infra</i> : Esquemas N° 2, 3 y 4)
Esquema N° 1: Ejemplos de metáforas, sus tipos y fisonomía conceptual lograda (elaboración propia: H.M.)			

VI. LOS ESQUEMAS HÍBRIDOS PUENTE TEORÍA-EMPIRIA

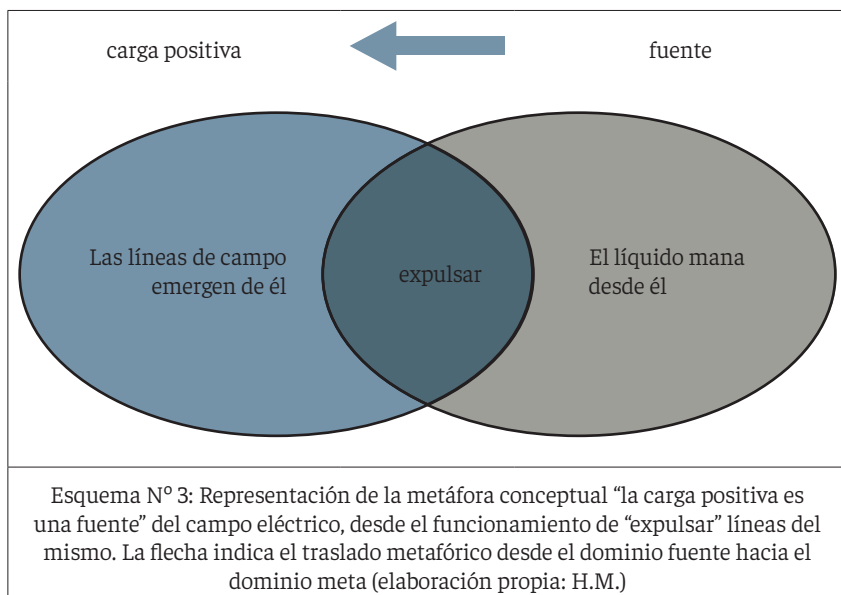
§. Visualización mediante diagramas de Venn-Euler

Podemos visualizar la metáfora estructuradora “las líneas de fuerza de un campo eléctrico son como líneas de un líquido en movimiento”, formando dos “conjuntos” encerrando con una línea los aspectos notables de un líquido en movimiento y de un campo eléctrico visualizando las correspondencias entre los conjuntos —ubicándolas en la intersección de los mismos—. En este procedimiento utilizamos los diagramas de Venn-Euler de la teoría de conjuntos:

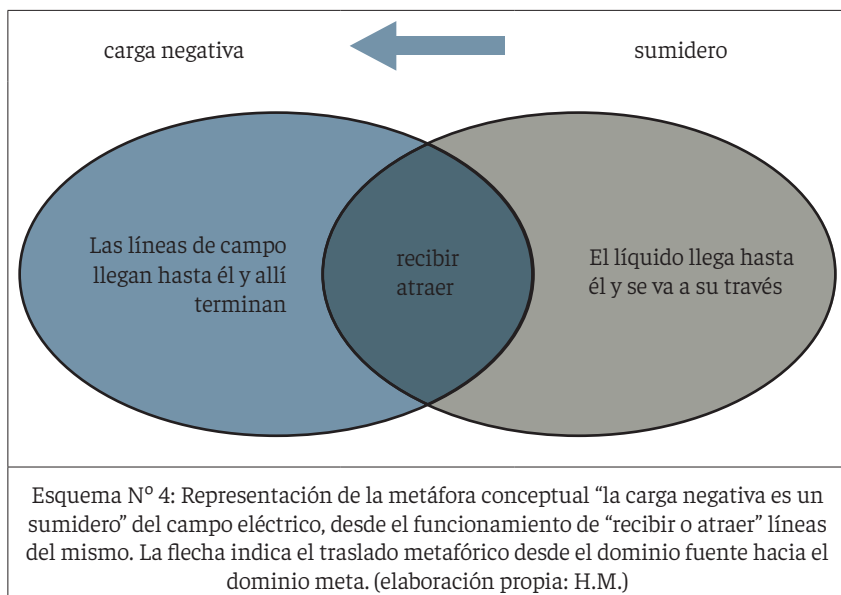


Notemos que este esquema muestra la captación de una estructura común entre ámbitos diversos.²⁵ Las líneas del movimiento de un líquido entre fuentes y sumideros permiten conceptualizar metafóricamente a las líneas de fuerza eléctrica entre cargas positivas y las negativas. Esta operación permite que las líneas de fuerza eléctrica incorporen funcionalidades —desde los flujos de agua— que no poseían (veremos la matematización lograda por Maxwell en el dominio electromagnético desde las ecuaciones de la hidrodinámica en el Anexo 5).

Notar que la metáfora estructuradora permite concomitantemente conceptualizar a las cargas positivas como fuentes del líquido imaginario (cf. Esquema N° 3) y a las cargas negativas como sus sumideros (cf. Esquema N° 4):



25. ¿Qué entidad tiene esta estructura común encerrada en la intersección? Son *gestalts* experienciales que forman parte de la "cantera de analogías" que anidan en la *praxis*, no son ni teóricas ni empíricas, seguiremos analizándolas (cf. *infra*: *La cantera económica de esquemas*).



Además, esta metáfora estructuradora permite equiparar la zona en la que hay líneas de líquido fluyendo en el dominio hídrico con el “campo” en el dominio eléctrico, dándole a este último la fisonomía conceptual de una zona de influencia de fuentes y sumideros.

§. La cantera económica de esquemas

Kantismo evolutivo

En el Esquema N° 2 observamos en la intersección la estructura común o esquema que une ámbitos diversos. Esta estructura — como hemos señalado — no es ni puramente empírica, ni puramente teórica, tiene su origen en nuestra andadura pragmática por el mundo con los demás, la hemos decantado pragmática y comunitariamente como útil desde las experiencias de movimiento de líquidos, fluidos, en las experiencias donde se da cierto fluir como

en el tránsito de automóviles o de personas... Tales esquemas (que hemos ubicado en la intersección de los conjuntos) tienen la entidad de imágenes (líneas, fuentes, sumideros), acciones (las líneas son “expulsadas” por la fuente y “atraídas” por el sumidero), funcionamientos familiares (las líneas no se cruzan entre sí, parten de una fuente y sin solución de continuidad llegan a un sumidero). Ese tipo de esquemas anidan en nuestra *praxis*, en una “cantera de analogías” (Samaja, 2004, p. 138) que han tenido éxito y que se constituyen en una especie de reservorio dinámico de instrumentos o de órganos que permiten asimilar cognoscitivamente la realidad.²⁶

¿Por qué son necesarios los esquemas intermediarios “híbridos” y no hay visión directa del hecho empírico? Porque cualquier sector de la realidad es infinitamente complejo (cf. Samaja, 2004, p. 159), “cada plano de fragmentación [de la realidad] admite ser estudiado ‘mediante un número de variables no inferior a infinito’ como lo dice Ashby” (Samaja, 2004, p. 53, aclaración entre corchetes propia: H.M.). La sensación de simplicidad (o de pocos elementos *relevantes*) la da el esquema *económico* aplicado.

Frente a ese hecho descripto por Faraday (líneas de fuerza como hilos elásticos) o a ese hecho descripto por Maxwell (campo eléctrico como movimiento de un líquido imaginario), hay que comprender que esos objetos de investigación podrían haber sido descritos reparando en otros aspectos ¿cuáles? Su número es infinito, al respecto dice Samaja:

[...] dado que todo objeto de investigación —abstractamente hablando— puede ser descripto mediante un número infinito de variables, la única forma de comenzar el trabajo científico será echar mano a analogías [resultado de procesos metafóricos

26. ¿Dónde reside esta “cantera de analogías”? ¿A qué ámbito de lo humano podríamos adscribirla? Con reservas —y con la sola intención de responder a una pregunta que el lector o lectora puede estar haciéndose— nosotros la asociaríamos al ámbito de lo mental.

según nuestra investigación] que promuevan la creación de mapas espirituales para abordar la experiencia. (Samaja, 2004, p. 189) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Esos *mapas espirituales* son esquemas constituidos por *analogías* (“cantera de analogías”). Sobre estos mapas hará pie la actividad metafórica dando cuerpo al elemento creativo presente en la actividad científica.

Parafraseando a Immanuel Kant podemos decir que las intuiciones sensibles sin esquemas son ciegas, mientras que los esquemas sin intuiciones sensibles son vacíos.²⁷ Hanson lo dice del siguiente modo: “los datos están cargados de teoría” (Hanson, 1977, p. 13). Samaja corrige la frase de Hanson: “todo dato está cargado de *praxis*²⁸ y por estarlo, puede ser un eslabón entre los hechos y los conceptos” (Samaja, 2004, p. 194). Samaja lo afirma así para evitar caer en el apriorismo que dice que sin teoría no hay experiencia, ya que: “Entre la teoría y la empiria hay algo más básico: la *praxis* [o la acción]. Esta *no es ni empiria ni teoría*” (p. 194, aclaración entre corchetes propia: H.M.).

Nosotros desde la consideración de esquemas mediadores residentes en una cantera de analogías vamos a considerar la asimilación o “lectura” metafórica de los hechos de la empiria (aplicando el esquema) como un “kantismo evolutivo”.

27. “Conceptos sin intuiciones [sensibles] son vacíos, intuiciones [sensibles] sin conceptos son ciegas” (*Crítica de la razón pura*, A51 = B75) (Kant, 2009, p. XXXI, aclaraciones entre corchetes propia: H.M.)

28. Samaja dice que la afirmación *los datos están cargados de teoría* “despertaría inmediatamente esta otra: ‘todo concepto teórico está cargado de experiencia’. La única forma de escapar al dilema del huevo y la gallina es pasar a la génesis, y en el ‘antes’ de la génesis no está ni la teoría ni la experiencia sino la *acción* (o *praxis*)” (Samaja, 2004, p. 194).

Lo consideramos de este modo en tanto los esquemas que estamos manejando en dicha cantera van evolucionando y no gozan de la rigidez del sistema kantiano. Siguiendo a J. Piaget afirma Samaja:

Estos esquemas son, por así decirlo, los órganos de que dispone el comportamiento de un sujeto para asimilar cognitivamente los “datos” exteriores [...] los esquemas pueden combinarse y complejizarse indefinidamente en totalidades más amplias, dando lugar así a un enriquecimiento ilimitado (en principio) en los horizontes de observabilidad que puede abarcar la inteligencia humana (Samaja, 2004, p. 193-194)

Al comentar la metáfora de Faraday y la continuidad en una nueva metáfora de Maxwell, advertimos que de metáfora en metáfora se amplía el conocimiento y la amplitud del horizonte conceptual del que hablaba Ortega y Gasset. Esas “líneas” que formaron parte del dominio meta de Faraday y fueron conceptualizadas desde el dominio fuente de las líneas “de fuerza” o los *hilos elásticos*, son tomadas por Maxwell en tanto “líneas de fuerza” como parte de un bagaje familiar, el aspecto de líneas semejantes a hilos elásticos comienza a ingresar en la cantera de analogías del científico. Es decir, la cantera no es algo rígido sino que va evolucionando, por eso lo de kantismo *evolutivo*.

Los indicadores de la inteligencia, la creación y la comunicación

El camino “puente” entre teoría y empiria a través del esquema es reversible, es decir, no hay observación directa de la empiria (se necesita un esquema híbrido) y tampoco hay observación directa de variables o dimensiones teóricas (se necesita también un esquema híbrido).²⁹ Por ejemplo en nuestro caso, rastreamos en los *papers*

29. ¿Hubiesen podido Faraday o Maxwell observar las variables teóricas que definen a las líneas de fuerza o a los campos eléctricos (su intensidad, etc.), sin un procedimiento previo de esquematización?

científicos la presencia de la metáfora como mecanismo de inteligencia, creación y comunicación (Magnasco, 2019). Ahora bien ¿cómo observar tales dimensiones teóricas (“inteligencia”, “creación” y “comunicación”)? No son observables directamente, porque no hay intuición de conceptos: “No hay *intuición de conceptos*. En consecuencia, es preciso que haya un término medio que enlace las sensaciones (que es lo único dado a los sentidos) con la dimensión [teórica]: ese término medio es el *esquema*” (Samaja, 2004, p. 193). Por eso Samaja advierte sobre la necesidad de definir *indicadores* que hagan visible la dimensión de la variable, tales indicadores son “esquemas”, procedimientos, una secuencia de acciones (notar que en tanto acción no es ni teórico, ni empírico):

Es importante hacer énfasis en esta importancia del *esquema* como *procedimiento*, porque mi afirmación de que no hay dimensión que sea observable no rechaza de ninguna manera el valor de los hechos mismos ni debe ser interpretada como una *recaída en el apriorismo* o deductivismo [...] Eso es lo que quise sostener al incluir el indicador en la estructura del dato [...] Se advierte, entonces, el interés epistemológico de ampliar la concepción de la *traducción de conceptos a índices*. (Samaja, 2004, p. 194)

Por lo tanto hemos propuesto tres indicadores de la presencia del mecanismo metafórico en tanto lógica de inteligencia, creación y comunicación. El primero, “Indicador 1”, se refiere a si se produce inteligencia a través del mecanismo, es decir, si se infieren propiedades desde lo conocido. El segundo, “Indicador 2”, se refiere a si hay creación, es decir, si se establece una conexión inédita entre ámbitos *prima facie* ajenos o desconectados. El tercero, “Indicador 3”, se refiere a si el mecanismo permite la comunicación, esto es, si produce una eficacia pragmática al explicar lo abstracto mediante lo concreto. Claramente en los ejemplos analizados de Faraday y Maxwell:

- se infieren propiedades en el dominio meta desde el dominio fuente, con lo cual hay inteligencia, es decir, el indicador correspondiente adquiere un valor positivo;
- se establece una conexión inédita entre ámbitos (meta y fuente) *prima facie* ajenos, por lo que hay creación, es decir el indicador correspondiente adquiere un valor positivo;
- hay una eficacia pragmática (interesante en docencia) al explicar lo más abstracto por lo más concreto, es decir el indicador correspondiente adquiere un valor positivo.

Seguiremos analizando esta lógica de inteligencia, creación y comunicación lograda por la metáfora.

Economía: el gozo de las semejanzas

Todo lo que venimos analizando nos lleva a colegir que hay en el fenómeno de la metáfora una economía, que está fundada en nuestra capacidad y concomitante gozo de captar semejanzas.³⁰

Como dijimos, Aristóteles asoció esta capacidad de “ver” o “captar” lo semejante como algo que “arraiga en lo más profundo de nuestra naturaleza” (Aristóteles, 2004, p. 39) y que tiene que ver con un gozo estético que el hombre encuentra en las tareas de *mímesis* (= imitación transformadora). Notemos que la metáfora imita o produce semejanza³¹ *transformando*: por ejemplo, las líneas de Maxwell imitan la corriente de agua pero son una transformación de las mismas, de igual modo un capricho imita un rizo o brinco de una cabra pero es

30. Por eso conceptualizábamos a cierta actitud humana mediante una metáfora: como un salirse del camino (=aberración) y no inventábamos una palabra nueva y estrafalaria como “56xyz”.

31. Cf. entradas del diccionario (DRAE) “asemejar” e “imitar”. Combinando los conceptos podemos afirmar que *Metaforizar es percibir lo semejante de dos cosas pertenecientes a ámbitos diversos = es asemejar o encontrar semejanzas con la mente entre esas dos cosas = es imitar con la mente la una con la otra = es configurar una a semejanza de la otra = es mimetizar una con la otra*. En todos los casos la metáfora produce un cambio de distancia en el espacio lógico (cf. Ricœur, 2006, p. 24)

una transformación de los mismos. En el arte, esta tarea de mimesis transformadora alcanza sus cotas máximas de creación, transformación y gozo.

Jerome Bruner (2004) habla de una “economía cognitiva” que nosotros (no él) asociamos a la operación metafórica. Esta economía cognitiva es entendible desde el momento en que cualquier sector de la realidad es infinitamente complejo como hemos referido (cf. Samaja, 2004, p. 53 y p. 159). Por ello Bruner por su lado dice que al conocer o reconocer vamos “más allá” de la información dada a los sentidos. Tal economía se produce —según Bruner— mediante dos procesos. Uno de ellos es la inferencia, por la que el sujeto repara en las “propiedades características” de ciertos objetos lo que le permite ubicarlo en cierta “clase”. Así, dadas unas pocas propiedades definitorias se infiere la identidad del objeto —de aquí que al percibir vamos “más allá” de las sensaciones o información dados a los sentidos—. Si bien Bruner no se refiere a la metáfora, podemos ver que este “reparar” en propiedades características e inferir de qué objeto se trata, es lo que le permitió a Maxwell —por ejemplo— captar las características de las líneas de fuerza como análogas a las características de líneas de corriente hídrica (metáfora sustancializadora).

El otro proceso que rescata Bruner en la economía cognitiva es el “aprendizaje de la reiteración del medio”, es decir, hay una esperanza o probabilidad fundada experiencialmente de que las cosas sean como se han dado en el pasado. Así, organizamos “sistemas de codificación”, un ejemplo sería el codificar el sistema de las líneas de fuerza como si fueran líneas de corriente hídrica entre fuentes y sumideros. Aquí hay todo un “sistema de codificación”, nosotros diríamos que hay una “estructura” que se repite en todos los flujos de agua y ahora también —mediante la visión metafórica— en las configuraciones de los campos eléctricos y magnéticos. Lo que comenzó la metáfora como característica de líneas de corriente (metáfora sustancializadora) se completó con el resto de los elementos del “sistema” que dan entidad a la metáfora estructural

(fuentes del líquido, sumideros, resistencias a su circulación, etc.). Bruner pone un ejemplo de su experiencia que le permitió captar una estructura semejante entre el tráfico de la gran ciudad y los fenómenos de acumulación de la arena en los canales de agua... los esquemas provienen de ámbitos muy distintos pero son análogos (cf. Bruner, 2004, p. 54ss). Esa analogía que captó Bruner es el resultado de una operación metafórica.

§. *La analogía fruto del traslado —metaféro— del esquema*

Hay una presencia de metáforas muertas (en estado de katacrexis) en el lenguaje y los modelos de las ciencias duras que son indicio de un mecanismo metafórico operante en su proceso. La metáfora original se suele ocultar diciendo que en realidad el lenguaje abandona lo meramente coloquial y se vuelve técnico, preciso, eliminando la ambigüedad del lenguaje de “la calle”, pero la metáfora de base sigue ahí. Algunos ejemplos nos hacen caer en la cuenta que hemos olvidado su origen metafórico, por ejemplo, la *corriente* eléctrica en electrodinámica (inspirada en los flujos de agua, cf. Gentner & Gentner, 1982), las “ondas” electromagnéticas (esquema tomado de las olas en el agua)... etc. Recordamos que en relación con la metáfora que opera en electrodinámica, Oliveras (2007, p. 186) dice: “aclara Max Black que la importancia de pensar en *corrientes* eléctricas no es sólo que podamos imaginarlas sino que así conocemos mejor sus propiedades”, esto es, hay un poder cognoscitivo que se traduce en una construcción de conocimiento, en una inteligencia.

Hemos mostrado (Magnasco, 2019) y reflejaremos aquí, que el proceso metafórico es constitutivo de las producciones científicas y no un mero modo de hablar añadido a un producto terminado y tendiente a la comunicación. ¿Por qué decimos “constitutivo”? Porque —básicamente— en la ciencia no hay observación “pasiva”, la misma está iluminada por una teoría (o mediada por esquemas de una cantera de analogías), que lleva al que observa a reparar en lo relevante.

Recordemos lo dicho por Samaja: “todo dato está cargado de *praxis*” (Samaja, 2004, p. 194), es decir los esquemas destilados en nuestra cantera de analogías son órganos de asimilación (cf. *supra*: *La cantera económica de esquemas*), que nos llevan a focalizar determinados aspectos y rechazar otros (una infinidad). Este reparar en lo relevante es una búsqueda económica de patrones y es en la interacción del científico y del mundo como se va construyendo la objetividad. ¿Cómo se consiguen esos patrones? A través de un diálogo, ¿están en la realidad? Sí, pero no se hubiesen obtenido sin un “filtrado” del investigador, un desechar infinidad de variables que en todo sector de la realidad podríamos encontrar. ¿Cómo se produce tal filtrado? Desde la aplicación metafórica de tales esquemas entrañados en la *praxis* del investigador.

Lo que sucede en ciencia sucede todos los días en la vida ordinaria, contamos con “patrones” que son como órganos que nos permiten asimilar la realidad. Los traslados metafóricos de analogías y sime-trías parecen tener un papel destacado en esta construcción de la objetividad de la ciencia o suposición de “como son” las cosas en la vida ordinaria.

Gentner & Gentner (1982) determinaron en su estudio sobre los modelos mentales que surgen sobre la electricidad básica (titulado: *Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity*) que los individuos sin formación técnica interpretaban los fenómenos eléctricos mediante analogías hídricas:

Pregunta: Cuando usted enchufa una lámpara y ésta se enciende, ¿Cómo ocurre tal cosa?

Sujeto Delta: básicamente hay un tanque de electricidad que el enchufe le provee, la electricidad entra en el cordón hacia el aparato, hacia la lámpara, y fluye, lo pienso como fluyendo debido a las imágenes que yo tengo del negativo al positivo, y también porque un cable es un tubo (o canal) que contiene esa entidad

que es como un río. (Gentner & Gentner, 1982, p. 2) (traducción propia: H.M.)

Los autores determinaron que este uso no era producto de una “forma de hablar” para hacerse entender (*terminología de superficie*) sino que dichas analogías les permitían a los individuos hacer inferencias desde dominio fuente y trasladarlas al dominio meta (*analogía generativa*):

Las comparaciones analógicas son comúnmente usadas en la discusión y enseñanza de los temas científicos. Este escrito explora el rol conceptual de la analogía. Comparamos dos posiciones: (1) la hipótesis de *analogía generativa*, esto es, que las analogías son un factor importante de la forma en que las personas piensan acerca de un dominio. (2) la hipótesis de *terminología de superficie*, esto es, que las analogías sólo proveen un vocabulario conveniente para describir conceptos del dominio. Presentamos en este estudio pruebas —desde entrevistas y estudios experimentales en el dominio de la electricidad básica— que al usar analogías, las personas trazan un mapa de estructuras conceptuales de un dominio a otro. Esta estructura conceptual importada influencia las inferencias que una persona hace acerca del dominio meta. Estos resultados soportan la hipótesis de *analogía generativa*. (Gentner & Gentner, 1982, p. 1) (traducción propia: H.M.)

Reiteramos que desde nuestro estudio sobre la operación metafórica las analogías son fruto o resultado de una operación cognoscitiva previa, la cual consiste en el traslado metafórico de un esquema o estructura desde un dominio “fuente” a un dominio “meta”. El razonamiento que habilita esta operación como lógicamente pertinente, lo hemos delineado en nuestro estudio: se

trata del razonamiento abductivo que hemos mencionado en la Introducción y que seguiremos viendo.

Reiteramos que nos referimos a un “surgimiento” de la metáfora en el *seno mismo* del proceso científico que da lugar luego a los modelos³² y no a un simple “uso” comunicativo o “ilustrativo” *post facto*. Dicha presencia es constitutiva de las producciones y se debe a un tipo de proceso inferencial involucrado en el decir metafórico que tiene —por tanto— cierta lógica³³ o razonabilidad y consecuente base epistémica.

Concebir tal presencia sólo como un añadido ilustrativo tendiente a la comunicación o divulgación de las producciones científicas, la desfigura reduciéndola a una comunicación devaluada de lo científico, una especie de mala trasposición didáctica-divulgativa, como si se tratase —tal decir metafórico— de un decir paralelo, secundario e inferior a otro más serio, primero y científico. Claramente esto interesa a la docencia: el cómo se construyó el conocimiento científico en base a la metáfora puede ser ocasión de construcción significativa para el alumno.

Testimonios directos de científicos sobre su forma de inquirir a la naturaleza son pertinentes aquí. Sobre el uso de esquemas provenientes de un dominio conocido para proyectarlos sobre un dominio meta constituyendo analogías, traemos la declaración del físico austriaco Ludwig Boltzmann (1844-1906):

32. Samaja (2004, p. 32) refiere que J. Piaget dice que un modelo es la proyección de un esquema lógico matemático sobre la realidad. Tomando este concepto de modelo, conjeturamos que la metáfora es anterior a ese modelo y es base del mismo. La metáfora será revestida por un ropaje lógico matemático que la trocará en modelo (cf. a modo de ejemplo *infra* Esquema N° 6: *Metáfora y matemática revistiendo y dando inteligibilidad a los hechos intrigantes*).

33. Que por lo dicho hasta ahora no puede ser la tradicional o “lógica menor” sino la lógica como camino o estrategia hacia el conocimiento (cf. *infra*: *Apostilla 9: Conocer es una operación “ilógica” de la imaginación* en Capítulo 2).

No podemos reprochar a una mera analogía que cojee en algunos aspectos. Por ella se interpretaron [...] la teoría elástica de la luz, la teoría de los gases, los esquemas químicos para los anillos bencénicos, etc., nada más que como analogías mecánicas, y finalmente la filosofía generalizó las ideas de Maxwell hasta fundar una doctrina según la cual el conocimiento mismo no es otra cosa que el hallazgo de analogías. Con esto los métodos científicos fueron definidos de nuevo y la Ciencia habló nada más que mediante comparaciones (Boltzmann, 1986, p. 54)

Es interesante que Boltzmann caracterice el conocimiento científico como el hallazgo de analogías, y no diga por ejemplo, que el conocimiento es fruto de una inducción. El hallar analogías pone el foco del conocimiento en el sujeto y su praxis, mientras que una inducción pondría el acento en la empiria y lo que ella tiene para decir.

Nosotros hemos analizado la naturaleza de este *hallazgo* de analogías, que es el *porqué* del surgimiento de la metáfora que las constituye desde la proyección de un dominio fuente sobre uno meta. En este sentido el físico y químico inglés Michael Faraday—considerado uno de los pioneros de la ciencia experimental—aconseja en la práctica de la ciencia buscar analogías de semejanza sin las cuales sería imposible razonar o inteligir el fenómeno estudiado:

Creo que en la práctica de la ciencia física, la imaginación debería ser ejercitada para presentar la materia investigada desde todos los puntos de vista posibles, e incluso imposibles; para buscar analogías de semejanza y, digámoslo así, de oposición, inversas o contrapuestas [...] No podríamos razonar sobre la electricidad sin concebirla como un fluido, o una vibración, o alguna otra forma o estado. (Faraday, *Experimental Researches in Chemistry and Physics* —1859—, citado por Berkson, 1981, p. 82)

Es interesante como para Faraday la ciencia debe ejercitar la imaginación buscando analogías. De nuevo, el científico pone la clave del conocimiento en su actividad imaginativa, actividad que no es irracional, sino regulada por su cantera de analogías. Seguimos a Ricœur en su teoría sobre la imaginación: ella es la capacidad de lograr un cambio de distancia en el espacio lógico “un nuevo parentesco genérico entre ideas heterogéneas” (Ricœur, 2006, p. 24). Esto se produce en la metáfora viva, donde la imaginación crea la semejanza (cf. Black, 1966, p. 47) entre dos cosas diversas o visión de dos en uno (violando el principio lógico de *tercio excluso*) y en la narración donde la imaginación produce la unificación de elementos heteróclitos por la puesta en trama.³⁴

34. Cf. para más detalles Magnasco, 2024, Capítulo 3: *Metáfora y narración: ventanas a la creatividad*. Subtítulos: *Poetizar: producir un acercamiento en el espacio lógico* y *Acercamiento por la visión de dos en uno y por la puesta en trama*.

VII. EL POSITIVISMO DESCASCARADO

*El “cientifismo” significa [...] que debemos
identificar el conocimiento con la ciencia.*
Jürgen Habermas, “Conocimiento e interés”

*De hecho, lo que se necesita es más bien
una nueva comprensión de la objetividad,
ya que es propiamente una característica
irreductible de cualquier relación comunicativa.*
John Deely, “Semiotic as Framework and Direction”

§. *¿La edad madura del hombre?*

*Es importante reconocer aquí, el poco envidiable
papel desempeñado por nuestra cultura occidental.
Si el grado de civilización de un grupo humano
se mide por la armonía de sus relaciones con
el entorno, nuestro nivel es bajísimo.*
Hubert Reeves, “El sentido del universo ¿Tiene futuro la vida?”

C. H. De Rouvroy acuñó el término “positivo” como calificativo de un nuevo modo de acercarse a lo real y fijar sus límites, dejando atrás el “oscurantismo” metafísico y religioso medieval. La ciencia moderna positiva tendrá nuevos sacerdotes que serán los científicos, cuyo evangelio será la inducción o verificación experimental. Augusto Comte (1985 [1849]) —secretario de De Rouvroy— anunciará la edad “madura” del hombre que deja atrás la infancia de la “explicación”

religiosa y la adolescencia de la metafísica³⁵ para establecerse en la ciencia positiva.

Jürgen Habermas comenta que según Comte algo “positivo” es lo que es de hecho y no meramente imaginado, es lo cierto y no lo indecible, es lo preciso y no lo indeterminado, es lo útil y no lo vano. El positivismo quiere limitarse a los hechos “Como *hecho* vale todo lo que puede ser objeto de una ciencia rigurosa [...] La experiencia sensible determina el acceso al dominio de los hechos. Una ciencia que hace enunciados sobre la realidad es siempre una ciencia experimental” (Habermas, 1990, p. 81-82).

El problema de esta forma de entender a la ciencia o a su conocimiento, no sería tan grave si no se identificara este tipo de conocimiento con el conocimiento válido *in genere*, es decir, el espíritu positivo es quien determina lo que es y lo que no es conocimiento (al que subordina a su propuesta metodológica): “El positivismo se fundamenta sobre el principio cientifista, puesto que, para él, el sentido del conocimiento es definido por lo que las ciencias efectúan y puede ser explicitado de manera suficiente mediante el análisis metodológico” (Habermas, 1990, p. 76).

Una propuesta de conocimiento a través de la metáfora como la que estamos presentando, es calificada por esta posición como metafísica o superflua: “Si una teoría del conocimiento traspasa el marco de la metodología científica, recibe el mismo veredicto de superfluidad y de falta de sentido que había atribuido antes a la metafísica” (Habermas, 1990, p. 76).

35. Tomamos inicialmente el concepto de “metafísico” como “abstracto, teórico, especulativo” (sinónimos propuestos por el DRAE) en el sentido de *no observable directamente*, pero “razonable” (mediante ABDUCCIÓN —o razonamiento abductivo—) en cuanto a sus manifestaciones observables (o RESULTADOS observables en el lenguaje de la lógica clásica). Luego explicitaremos más nuestra postura de una Metafísica en orden a una Física mediante la metáfora estoica del *Árbol de la Ciencia*, cf. *infra*: *El límite entre la física y la metafísica* en el capítulo 7.

Una especie de fusión transaccional

La visión de dos en uno que caracteriza la operación metafórica es claramente una operación “sintética” del sujeto cognoscente, hay una tensión en ese acoplar dos ámbitos heteróclitos que —sin embargo— resulta fecunda en el progreso cognoscitivo y en la significatividad de las hipótesis involucradas (por ejemplo en la metáfora de Maxwell: “esto que estoy viendo es una especie de flujo de un líquido imaginario”). Esta síntesis del sujeto es una especie de *fusión* en la que el sujeto aporta de lo suyo para configurar el objeto y el objeto aporta al sujeto un enriquecimiento de su cantera como organismo de asimilación “razonable” de la realidad (cf. *infra*: *Apostilla 5: La verdad tiene que ver con una fusión artística*). El cientificismo positivista (o científismo, como lo nombra Habermas) elimina al sujeto cognoscente, no admite que el sujeto se involucre o aporte ingredientes al objeto, o haga síntesis o se fusione con el objeto. La forma de aislar al sujeto es a través de su metodología o, en otras palabras, la estrategia es sustituir una teoría del conocimiento (que involucraría al sujeto) por una teoría de la ciencia (reducida a metodología):

La sustitución de la teoría del conocimiento por una teoría de la ciencia se pone de manifiesto cuando el sujeto cognoscente deja de funcionar como sistema referencial. Desde Kant a Marx, el sujeto del conocimiento ha sido considerado como *conciencia, yo, espíritu o especie*; por esta razón —por mucho que hayan cambiado los conceptos de síntesis y de sujeto—, el problema de la validez de los enunciados sólo podía decidirse con referencia a una síntesis (Habermas, 1990, p. 76)

¿Ciencia “dura” con bases “blandas”?

Nosotros hablamos de “ciencia dura”, refiriéndonos a esa ciencia que tiene supuestamente dos patas duras: el punto de contacto fijo con la empiria (que no es tal, puesto que el sujeto interpone sus metáforas, cf. *infra* Esquema N° 6) y las ciencias formales lógica y matemática (que no bajan a la tierra desde ningún mundo platónico eterno e inmutable, cf. *infra*: *Relación Matemática-Física* en Capítulo 7). Ella no sospecha para nada que detrás de la lógica y de la matemática esté el sujeto, es decir, que la lógica y la matemática tengan un origen, una génesis que estaría “contaminada” por la síntesis del sujeto —también— en estos campos:³⁶

Como metodología de la investigación, la teoría de la ciencia presupone la validez de la lógica formal y de la matemática. Estas, a su vez, como ciencias autóctonas, quedan desconectadas de una dimensión que sería la única en la que la génesis de sus operaciones fundamentales permitiría su tematización. Una teoría del conocimiento rebajada a metodología pierde de vista la constitución [por parte de la síntesis del sujeto] de los objetos de la experiencia posible, de igual modo, una ciencia formal, separada de la reflexión trascendental, desconoce la génesis de las reglas de conexión entre los símbolos; ambas ignoran, hablando kantianamente, las operaciones sintéticas del sujeto cognoscente (Habermas, 1990, p. 77) (aclaración entre corchetes propia: H. M.)

36. Sobre la influencia de la metáfora en lógica, ver para más detalles Magnasco, 2024, Capítulo 2: *La metáfora escondida en la lógica*. Subtítulo: *La influencia de las metáforas sobre los razonamientos clásicos* y Capítulo 4: *La metáfora que habla e importuna la lengua*. Subtítulo: *El vacío como primeridad. Análisis semiótico de la metáfora*). Sobre el posible origen empírico de la matemática ver *infra*: *Relación Matemática-Física* en Capítulo 7.

Habermas ataca la idea del positivismo, esto es, que la ciencia y la investigación modernas son “objetivas”. Opina que la ciencia y la tecnología están regidas por valores e intereses que contradicen la búsqueda de la verdad. Sostiene que la “sociedad tecnológica” y el consiguiente aumento de la burocracia han servido para despolitizar a los ciudadanos. De esta forma la razón y la ciencia se han convertido en herramientas de dominación (cf. Habermas, 1990).

§. *¿Observación directa sin metáforas?*

La concepción tradicional de ciencia confía en poder acceder a un punto de contacto fijo y universal con la empiria, es decir, que todos los observadores con los cuidados apropiados observemos “directamente” lo mismo sin que medie ninguna metáfora, teoría interpósita o metafísica (contra esto ver esquema N° 6 en este Capítulo). Esta es su garantía de eliminación de un lenguaje ambiguo con residuos metafísicos y metafóricos. Así, Gregorio Klimovsky (1999, p. 79) describe dos tipos de enunciados en la ciencia:

- los “enunciados empíricos” que sólo contienen objetos empíricos es decir *directamente* observables, en el sentido de no mediar teorías, ni metáforas en su constitución y;
- los “enunciados teóricos” que cuentan con al menos un objeto teórico, es decir, no observable *directamente* pero postulado como explicación de algunas experiencias.

Estos dos tipos de enunciados se disponen en tres niveles. En el nivel 1 están los enunciados empíricos singulares (por ejemplo: “esta flor es blanca”), en el nivel 2 tenemos los enunciados empíricos generales como generalizaciones empíricas inductivas (por ejemplo: “todas las flores de la primera generación son blancas” —en la experiencia de Mendel—), en el nivel 3 tenemos enunciados teóricos, es decir que cuentan con objetos teóricos u “objetos indirectos” no observables directamente (por ejemplo: Mendel postula los “genes” inobservables para explicar sus experiencias).

Desde el criterio empirista del significado, Bertrand Russell aboga por la realidad y necesidad de tal conocimiento directo: “El conocimiento directo excluye la mediación de procesos de inferencia o de conocimiento de verdades” (citado por Hierro S. Pescador, 1986, p. 190). Es decir, Russell intenta explicar todo el conocimiento objetivo como construido a partir de experiencias *inmediatas*: “Toda proposición que podamos entender debe estar compuesta exclusivamente por elementos de los cuales tenemos un conocimiento directo” (Russell, 1995, p. 56). Para esta postura hay conocimiento directo indubitable sin interferencias del sujeto, punto de contacto absolutamente fijo con la experiencia, esto es, conocimiento universal, válido de la misma manera para todo el que “siente”. Todo lo demás debe ser excluido de la ciencia y relegado al baúl de la metafísica o la psicología.

En este libro seguiremos mostrando que la realidad científica no funciona de esta manera, los ejemplos mostrados hasta aquí —las metáforas de Faraday y Maxwell— nos advierten que no existe tal punto de contacto fijo con la empiria, ni siquiera en el enunciado empírico singular “la nieve es blanca” podemos encontrar dicho punto fijo. Al respecto dice Bredlow que el hecho de poder traducir la frase a distintos idiomas (“Snow is white”, “La neige est blanche”, etc.) “facilita la ilusión de una realidad que está ahí con independencia de cualquier lengua” (Bredlow, 2006, p. 7), pero en lenguas más alejadas de nosotros como la de los inuit —esquimales— no existe ninguna palabra para “nieve”. Ellos tienen diecisiete o dieciocho palabras para referirse a distintos estados de la nieve, pero ninguna que coincida con “nieve”, “snow” o “niège”... Muy probablemente se deba al habitar en un mundo “blanco” donde los contrastes en el blanco son importantes para sobrevivir (por ejemplo, para ver un depredador de color blanco). Seguramente perciben la nieve de modo muy diferente respecto de todos los que no habitamos un mundo así. Tampoco poseen una palabra que designe el “blanco”, por lo que la frase referida sería imposible de traducir a esa lengua.

La dependencia del percibir con el lenguaje del percibiente cuestiona el punto de contacto fijo con la empiria:

[...] lo que me importa [señalar] es que no hay ni siquiera un mismo hecho al que podamos referirnos los esquimales y nosotros [...] vemos que en la realidad esquimal ese hecho [la nieve es blanca] no existe, no está ahí como tal hecho; ni tampoco hay una cosa que nosotros llamamos “nieve” y ellos con otro nombre, sino que hay otras cosas, para las que nosotros quizá ni siquiera tenemos un nombre. Claro está que siempre podemos decir que hay allí algo que vemos el esquimal y nosotros, y que eso está ahí de todos modos, antes y fuera de todo lenguaje; pero por eso mismo justamente nunca podemos decir qué es ni saberlo. (Bredlow, 2006, p. 7) (aclaramiento entre corchetes propios: H.M.)

Esto nos dice algo muy importante: el lenguaje abre mundos y cierra mundos, el lenguaje “recorta” la realidad de un modo particular.³⁷ Hay una influencia del lenguaje en el proceso de conocimiento y de actuación que el poeta y biblista Alonso Schökel llama “función categorizadora del lenguaje” (Alonso Schökel, 1986, p. 151).

El ser que puede ser conocido es lenguaje

Gadamer dijo que “el ser que puede ser conocido es lenguaje” (Gadamer, 1999, p. 567). Ya su maestro Heidegger había dicho: “el lenguaje es la casa del ser. En su morada habita el hombre” (Heidegger, 2006, p. 11). Este habitar del hombre en el lenguaje tiene como consecuencia que el mundo, sus hechos y lo que en él acontece, no puede ser pensado como una cosa “frente al hombre”, sino como un habitar que no tiene “dentro o afuera”. En este sentido

37. Se puede profundizar esta temática en: Magnasco, 2024.

Wittgenstein sentenció: “los límites de mi mundo significan los límites de mi lenguaje” (Wittgenstein, 2009, p. 105 en *Tractatus Lógico-Philosophicus*), Grondin (2004) lo dice de este modo: “los límites del lenguaje son entonces los límites también de nuestra comprensión” (p. 87).³⁸

Hemos dicho que la metáfora es la creadora del lenguaje natural (cf. *supra*: *Organismo conceptual metafórico*) y que el hombre que hace uso de ella establece la significatividad de sus expresiones, es necesario entonces volver a advertir que el lenguaje no es algo “exterior” al hombre sino que lo involucra activamente desde ese proceso metafórico de nombrar y estructurar su experiencia de modo significativo.

§. ¿La metáfora es un defecto del lenguaje?

Algunos buscaron entonces un lenguaje universal —podríamos decir científico y literario a la vez— que trascendiera culturas e idiosincrasias, bajo el modelo del lenguaje matemático. En el SXVII el obispo John Wilkins a la cabeza de los “proyectistas ingleses”, guiado por el empirismo de F. Bacon (que proponía atender a las cosas y combatir las ficciones del lenguaje), busca una lengua universal y perfecta ajustada a las cosas y sus vinculaciones, a lo externo, procurando un lenguaje unívoco que refleje fielmente la naturaleza de cada cosa —en esto se parece al Wittgenstein (2009) del *Tractatus Logicus Philosophicus* que busca un lenguaje de tipo “pictórico”.

El lenguaje universal buscado por Wilkins y los proyectistas debía tener tres características: 1. *Universal*: esto es, expandible a todas las naciones y estable (todas las naciones lo entenderían). 2. *Científico*: esto es, ser un inventario orgánico de todo el conocimiento (fidelidad

38. Aquí reside la dificultad de una hermenéutica de naturaleza lingüística, la realidad parece adquirir entidad en un conjunto heredado de textos, relatos, mitos, narraciones e instituciones que fundan las bases de nuestro conocimiento de lo que es el mundo y el hombre.

a las cosas y sus relaciones) y para exigir de su hablante rigor en sus operaciones (aquí entra la gramática y la lógica). 3. *Aplicable*: es decir, tener viabilidad práctica, esto es que se pueda aprender fácilmente (aquí las distintas soluciones iban por el lado ideográfico o de grafía icónica, fonética onomatopéyica, etc.).

Los intentos de los proyectistas fueron infructuosos (cf. Laborda Gil, 1981, p. 51) en cuanto que tal lenguaje universal no se logró. El problema radicó en buscar que sea *científico*, esto es, pretender que sea un “inventario orgánico” de todo el conocimiento (fidelidad a las cosas y sus relaciones), pues cada “cosmovisión” tiene su propia “organicidad artificial”. Borges comenta con un ejemplo las ambigüedades que para una cultura tiene la clasificación de otra:

Esas ambigüedades, redundancias y deficiencias recuerdan las que el doctor Franz Kuhn atribuye a cierta enciclopedia china que se titula *Emporio celestial de conocimientos benévolos*. En sus remotas páginas está escrito que los animales se dividen en (a) pertenecientes al Emperador, (b) embalsamados, (c) amaestrados, (d) lechones, (e) sirenas, (f) fabulosos, (g) perros sueltos, (h) incluidos en esta clasificación, (i) que se agitan como locos, (j) innumerables, (k) dibujados con un pincel finísimo de pelo de camello, (l) etcétera, (m) que acaban de romper el jarrón, (n) que de lejos parecen moscas. (Borges, 1952b, p. 708)

Hay una “resistencia” de lo real a dejarse describir o “embretar” en un lenguaje lógico-matemático, los intentos serios realizados ya en el siglo XVII de lograr un lenguaje “matematizado” ajustado a las cosas han sido vanos.³⁹ La razón última de este fracaso hay que buscarla en la urdimbre metafórica del lenguaje y del conocimiento.

39. Para ampliar este tema, ver Magnasco, 2024, Capítulo 6: *Intentos de “metaforicidio”*, especialmente ver el subtítulo *La búsqueda de un lenguaje universal y perfecto: sin metáfora*.

§. *No hay hechos sino interpretaciones metafóricas*

F. Nietzsche nos ha conducido a entender que *no hay hechos sino interpretaciones* (cf. Nietzsche, 2006, p. 337 sentencia 476),⁴⁰ sentencia a la que suma en sintonía esta otra: “La verdad es el error, sin el que no puede vivir ningún ser viviente de determinada especie” (p. 343 sentencia 488). Desde la línea hermenéutica *Heidegger-Gadamer-Ricœur* (que asumimos como herramienta teórica, cf. *infra*: *Apostillas sobre lo experimentado como verdad* en Capítulo 2) estas sentencias —y en sintonía con el mismo Nietzsche— no son interpretadas escépticamente (“no hay verdad” o “todo vale” o “todo es subjetivismo puro”). Las sentencias dicen que *hay* verdad, pero un tipo de verdad que no puede prescindir de los sujetos que conocen (como supone el positivismo). Nosotros acentuamos que esta participación de los sujetos es metafórica. Para que no queden dudas que esta participación no se debe a la falta de un método científico de observación de los hechos, traemos un ejemplo paradigmático desde el mundo microfísico.

Emergencia de fusión metafórica en el mundo microfísico

Si bien haremos un recorrido por los orígenes de la ciencia moderna para mostrar la operación metafórica en la constitución de sus logros (cf. *infra* capítulos 3 al 7), es en el mundo microfísico donde se puso en evidencia con fuerza que trabajamos con metáforas y no con lo que surge de un contacto “directo” con la empiria (cf. *infra* capítulos 8 y 9).

40. La cita dice: “En mi criterio, contra el positivismo que se limita al fenómeno, ‘solo hay hechos’. Y quizá, más que hechos, interpretaciones. No conocemos ningún hecho en sí, y parece absurdo pretenderlo [...] El mundo es algo ‘cognoscible’ [...] pero al ser susceptible de muchas interpretaciones no tiene un sentido fundamental sino muchísimos sentidos. Perspectivismo” (Nietzsche, 2006, p. 337 sentencia 476, subrayado propio: H.M.).

Durante mucho tiempo el fenómeno llamado “electrón” se consideró bajo la metáfora sustancializadora de la partícula o *pelotita*, pero luego se observó que también respondía a una metáfora que lo “veía” como un *oleaje*, es decir como una onda. Dice al respecto uno de los fundadores de la mecánica cuántica:

La noción de la realidad objetiva de las partículas elementales se ha disuelto por consiguiente en forma muy significativa, y no en la niebla de alguna noción nueva de la realidad, oscura o todavía no comprendida, sino en la transparente claridad de una matemática que describe, no el comportamiento de las partículas elementales, pero sí nuestro conocimiento de dicho comportamiento. (Heisenberg, 1985, p. 15-16)

Werner Heisenberg (1901-1976) está reconociendo que lo que el físico atómico está conociendo no es la realidad “en sí” sino sus propios esquemas mentales matemáticos. Notemos que estos esquemas tienen por consiguiente una naturaleza híbrida, a medio camino entre el observador y lo observado. ¿Por qué se manifiesta este conocimiento como algo que no depende sólo de la realidad observada sino también del observador (cosa que en la física clásica se había *pasado por alto* ante el resultado de un feliz acople mapa-territorio)?

Fusión: a mitad de camino entre el observador y lo observado

La afirmación sobre este conocimiento que no alcanza la realidad “en sí” y que queda a mitad de camino entre el observador y la realidad, se debe a que las metáforas inteligibilizadoras que surgen en este caso ante los hechos intrigantes son paradójicas. Una entiende al fenómeno subatómico como partícula o *pelotita* y la otra lo comprende como un *oleaje* u onda. Esto genera una incertidumbre ¿es onda o es partícula o es las dos cosas? Si no se hubiese dado esta

paradoja y el comportamiento hubiese sido consistente con una sola de las imágenes y su matematización, se hubiese pensado en que tal matemática resultante estaría describiendo la realidad en sí.

Tal incertidumbre recién referida será expresada por Heisenberg en forma matemática en su famoso *Principio de Incertidumbre* que veremos contiene entrañadas en su formulación las dos metáforas contradictorias de la pelotita (fenómeno localizado) y de la ola (fenómeno distribuido en el espacio) (cf. *infra*: Capítulo 8).

Entendamos que estas metáforas se dan en el *diálogo* del investigador con la naturaleza, y en tanto metáforas son un producto híbrido, especie de *fusión* del observador y lo observado. Desde estas dos metáforas se diseñan las experiencias de medición de sus propiedades y características. Por ello dice Bohr que ya la física no puede definirse como la observación pasiva de la naturaleza en sí: “nunca somos sólo espectadores, sino siempre también actores en la comedia de la vida” (Bohr citado por Heisenberg, 1985, p. 16). Por ello y en una contundente afirmación que descascara al positivismo clásico dice:

Las vulgares divisiones del universo en sujeto y objeto, mundo interior y mundo exterior, no sirven ya más que para suscitar equívocos [...] *en la ciencia el objeto de la investigación no es la naturaleza en sí misma, sino la naturaleza sometida a la interrogación de los hombres* [...] En la teoría de los cuantos [...] ha habido que hallar fórmulas matemáticas que expresaran no la naturaleza sino el conocimiento que de ella tenemos [...] La incidencia del método modifica su objeto y lo transforma hasta el punto de que el método no puede distinguirse del objeto (Heisenberg, 1985, p. 22-27) (cursivas en el original)

De algún modo lo que afirma Heisenberg es que en el objeto se encuentra el sujeto (que ingresó a través del método de indagación guiado por las metáforas de la pelotita y la del oleaje). Hay una *fusión*

del sujeto con el objeto (cf. *infra*: Apostilla 5: *La verdad tiene que ver con una fusión artística* en Capítulo 2). En otras palabras no hay observación directa de la realidad en sí sino a través de metáforas o de un lenguaje metafórico⁴¹ que luego será revestido de matemática.

Contra el punto de contacto fijo con la empiria

Los argumentos en contra del supuesto punto de contacto fijo con la empiria los seguiremos ofreciendo a través de las metáforas y los testimonios de los mismos científicos. No hay acople perfecto sino intersticio que invita al “salto” metafórico dado por el sujeto desde su “cantera de analogías” (Samaja, 2004). Esto es: no hay experiencias puramente empíricas. Estableceremos luego algunos modelos para observar la acción de la metáfora en la constitución de datos y conjeturas (cf. *infra*: *La ficción de los puntos de partida de la “lectura” sin metáforas* en Capítulo 3).

§. *¿Irracionalidad de las hipótesis?*

Respecto de los “enunciados teóricos”,⁴² la misma postura positivista —que la realidad metafórica descascara— sostiene que ellos son inferidos “indirectamente de la experiencia”, a modo de invención

41. Lograr una supuesta observación directa sin teorías o metáforas interpósitas como quiere el positivismo se traduciría en una descripción de la realidad que responde al modelo pictórico del lenguaje de Wittgenstein (2009), es decir lograr un lenguaje que “pinte” la realidad tal cual esta es, una depuración lingüística que produzca un “acople pictórico” entre el lenguaje y las cosas o entre la observación y los hechos. En este supuesto acople pictórico no habría intersticio para la metáfora.

42. Recordemos que ellos son los enunciados que cuentan con al menos un objeto teórico, es decir, no observable *directamente* pero postulado como explicación de algunas experiencias, el ejemplo clásico es la postulación de los genes por parte de Gregor Mendel.

conjetural tentativa imaginativa sin ninguna coherencia ni racionalidad. Dice Klimovsky:

Descartado el método inductivo para el acceso a los enunciados de nivel teórico, ¿cuál será el método que permite a los científicos formular hipótesis o conjeturas de ese nivel? La respuesta puede ser sorprendente y hasta decepcionante: es el mismo “método” con que a un artista se le ocurre una obra de arte, o sea, por el poder de imaginación y de creación de que dispone. (Klimovsky, 1999, p. 79)

Estamos de acuerdo con casi toda la cadena de los significantes de Klimovsky, pero no con su significado, ya que su concepción de inspiración artística es diversa de la que sostenemos aquí. Klimovsky habla de cierta “decepción” frente a esa inspiración porque coincide con K. Popper que ve en la inspiración artística una mera irracionalidad: “No existe, en absoluto, un método lógico de tener nuevas ideas, ni una reconstrucción lógica de este proceso” (Popper, 1962, p. 31)⁴³ Lo ilógico de lo artístico ¿a qué tipo de lógica se refiere? Samaja refiere que hay dos grandes formas de entender la lógica: una como estudio de las reglas de inferencia (“lógica menor”) y la otra como estudio del proceso o camino hacia el conocimiento (“Lógica Mayor”):

43. Por eso continúa diciendo Klimovsky respecto de los enunciados teóricos: “Se trata de imaginar que puede haber ‘detrás’ de una apariencia que explique el comportamiento de esta, así como Mendel imaginó los genes para explicar el modo en que se comportaban sus alverjillas y Dalton imaginó los átomos para explicar el comportamiento de las sustancias elementales cuando se combinan en el laboratorio. No podemos acceder a ese ‘detrás’ por medio de la observación y por ello debemos imaginarlo y en cierto sentido, crearlo” (Klimovsky, 1999, p. 79). Y agrega la recomendación del genial epistemólogo: “Pero aquí es necesario aplicar la recomendación de Popper: tener la mayor osadía para inventar hipótesis, aunque el mayor rigor después para controlarlas” (p. 79) (es la postura del racionalismo crítico o falsacionismo).

[...] el uso estricto del término “Lógica” se reserva actualmente, de manera casi exclusiva, para la disciplina que estudia las leyes que rigen las inferencias racionales desde el punto de vista de su validez formal. Si se identifica *inferencia válida* con *deducción*, se la define entonces como “el estudio de los diferentes tipos generales de deducción” [...] Hay, sin embargo, una importante tradición que distingue la Lógica como estudio de las reglas de inferencia (“lógica menor”) de la Lógica como estudio del proceso de desarrollo del conocimiento (“Lógica Mayor”, o Metodología, en sentido estricto) (Samaja, 2004, p. 190-191)

Nosotros vemos a las metáforas como esa lógica que es camino hacia el conocimiento y desarrollo del mismo (ampliación del horizonte conceptual). Lejos de ser algo irracional, las metáforas son fruto de una “razonabilidad”, en donde el que entiende lo hace desde un experimentar lo nuevo desde las experiencias pasadas logrando significatividad en sus conocimientos (cf. *infra*: *El corsi-ricorsi: la cantera de analogías y el proceso metafórico* en el Capítulo 2). Además de distinguir una lógica menor de una lógica mayor, distinguimos la razonabilidad de la razón. Dice Nubiola: “La razonabilidad, prepara el terreno a una comprensión más profunda de razón humana, que puede vencer la pobreza del naturalismo cienticista contemporáneo y del posmodernismo escéptico” (Nubiola, 2009, p. 111). La pobreza del naturalismo cienticista es la operación de una razón sin razonador, de un conocimiento apartado —supuestamente— de los intereses del sujeto y sin intervención activa del mismo. Por otro lado el escepticismo que dice que no hay verdad y si la hay no la podemos conocer, es derribado por la razonabilidad del éxito de la metáfora imbricada en el conocimiento.

Respecto de la metáfora en el conocimiento como inspiración artística, sostenemos —a la luz de la línea Hermenéutica Heidegger-Gadamer-Ricœur— que la inspiración artística (que para

Klimovsky y Popper no tiene racionalidad ni lógica) es la misma que guio a Faraday y a Maxwell con sus metáforas. Coincidimos con Gadamer, en que el arte es el modelo del conocimiento y de creación transformadora de la realidad a través de la metáfora. Es en la poesía donde en fórmulas de Gadamer “crece el ser” (Vilar, 1996, p. 4), o “surge la palabra”, allí la palabra “dice más” que en cualquier otro caso:

¿Qué significa el surgir de la palabra en la poesía? Igual que los colores salen a la luz en la obra pictórica, igual que la piedra es sustentadora en la obra arquitectónica, así es en la obra poética la palabra más diciente que en cualquier otro caso. Esta es la tesis. (Gadamer, 1971, p. 16)

Este “decir más” de la palabra metafórica o poética es una creación de realidad más que un descubrimiento como hemos referido (cf. *supra*: *Metaforizar es crear semejanzas que no existían*). Que sea menos evidente su funcionamiento en la vida diaria y en la actividad científica no significa que el arte sea algo aparte, irracional y puramente estético y que todo rastro de metáfora deba ser eliminado de la actividad científica. Tratamos aquí de mostrar la continuidad que hay en la vida diaria, en la ciencia y en el arte a través del conocimiento logrado por la operación metafórica.

Este cubrimiento de vacíos semánticos o hermenéuticos a través de la metáfora, además de ser un plus semántico (como el decir de Faraday sobre las “líneas de fuerza”, hasta ese entonces nunca nombradas) es un plus ontológico (por algo hablamos al comienzo de este capítulo de las metáforas ontologizadoras, cf. *infra*: *Apostilla 6: Las innovaciones semánticas son también ontológicas* en Capítulo 2).

Debido al prejuicio sobre la actividad artística como alejada del conocimiento, el proceso de la ciencia fue dividido en dos contextos: las conjeturas —fruto supuestamente de una mera irracionalidad—

fueron relegadas al llamado “contexto de descubrimiento” (los pasos o instancias que llevan a un científico hasta sus conjeturas o hipótesis) considerado desde Reichenbach como “no científico”. Este contexto de descubrimiento alberga todas esas locas actividades sin ninguna “lógica” que al modo de una “inspiración artística” o irracional llevan al científico a sus conjeturas (cf. Klimovsky, 1999, p. 79). El otro contexto es el propiamente científico y se denomina “contexto de justificación”.

Es necesario aclarar que es artificial dividir el proceso de la ciencia en estos dos contextos como si fueran deslindables y sucesivos, en realidad suele haber un único proceso “espiralado” donde se da una especie de alternancia iterada con momentos “epigenéticos” (cf. Lebus, 2014). Samaja al describir el proceso de la ciencia no habla de “etapas” sino de “fases” y aclara que:

[...] he preferido el término “fases” al de “etapas” porque este último se basa en una metáfora mecánica, ya que alude a “estaciones en un cierto camino”. Por el contrario creo que el término “fase” permite introducir una metáfora más rica y más próxima a la complejidad real de las relaciones que se dan entre los componentes o momentos del proceso de investigación. Me refiero a las fases de un desarrollo embriológico (o epigenético). La Embriología nos enseña que el ser vivo adulto no se forma como una agregación de partes preformadas, sino por sucesivas reconfiguraciones y diferenciaciones de una misma totalidad (Samaja, 2004, p. 212-213)

Hans Reichenbach (1851-1953) fue quien comenzó con la tradición de eliminar todo elemento artístico o “irracional” del proceso de la ciencia. En su libro “Experiencia y Predicción” (de 1938) distinguió los dos contextos mencionados, recomendando al filósofo de la ciencia (epistemólogo) desterrar del contexto de justificación “el modo del pensador de encontrar un teorema”, así como “los procesos reales

del pensar” (cf. Rodríguez Rodríguez, 2005). Es decir los procesos del contexto de descubrimiento no se podían justificar “científicamente”, ya que se los consideraba propios de la psicología y la sociología —no científicas— (cf. Durand & Suaya, 2003). Posteriormente K. Popper (1902-1994) relega el ámbito de la creación de hipótesis (contexto de descubrimiento) a lo extra científico o irracional.

¿Cuáles son los argumentos de fondo? La epistemología positivista deja fuera de su óptica el llamado “contexto de descubrimiento” por considerarlo no enlazable con la base empírica indubitable (positivismo lógico), o no analizable lógicamente ni racionalmente por involucrar elementos inmanejables subjetivos, psicológicos y sociales (racionalismo crítico o falsacionismo).

Recalcamos: para estas posturas no hay ninguna lógica y racionalidad, ningún “sentir” que la cosa “puede ser así”. Por lo tanto, no existiría tampoco ninguna “significatividad” en la generación de nuevos conocimientos. Si esto fuera así, lo dicho en nuestra Introducción a este libro no tendrían ningún sentido y el recupero de la metáfora sería una tarea inútil.

Contra esto seguiremos presentando la actividad de los sujetos basada en creativos saltos metafóricos que va estableciendo no sólo las bases del conocimiento personal y su motorización sino también las bases de la ciencia dura. En este sentido traemos la postura de Lakoff & Johnson sobre los conceptos teóricos:

Los denominados conceptos puramente intelectuales, por ejemplo los conceptos de una teoría científica, están a menudo —quizás siempre— basados en metáforas que tienen un fundamento físico [en el sentido de experiencia corporal cotidiana] y/o cultural. *Altas* en “partículas de altas energías” se basa en MÁS ES ARRIBA. *Alto* en “funciones de alto nivel” [...] se basa en que lo RACIONAL ES ARRIBA [...]. La capacidad de atracción intuitiva de una teoría científica tiene que ver con el acierto con

que sus metáforas se ajusten a la experiencia personal. (Lakoff & Johnson, 2007, p. 56) (aclaración entre corchetes propia: H. M.)

En el postulado teórico “*partículas de alta energía*”, operan dos metáforas básicas: además de la orientacional recién indicada, opera la sustancializadora que metaforiza ese fenómeno que posee alta energía como una partícula (recordamos que en el mundo microfísico tenemos dos metáforas complementarias: partícula y onda). Es decir, el enunciado es considerado teórico porque no es directamente enlazable con el “punto fijo” de contacto con la empiria, y en este sentido ya tiene algo de metafórico, pero en su enunciación aparece el lenguaje que por su base somática hace que dichos enunciados queden enlazados metafóricamente por “partida doble” con la empiria. Esto es: no hay “contacto directo” con la empiria sino un *primer traslado* de esquemas que constituyen los “datos”, y hay un *segundo traslado* de esquemas —sobre los “datos”— al realizar la teorización o generar el concepto teórico.

VIII. DOS ESQUEMAS A MODO DE SÍNTESIS

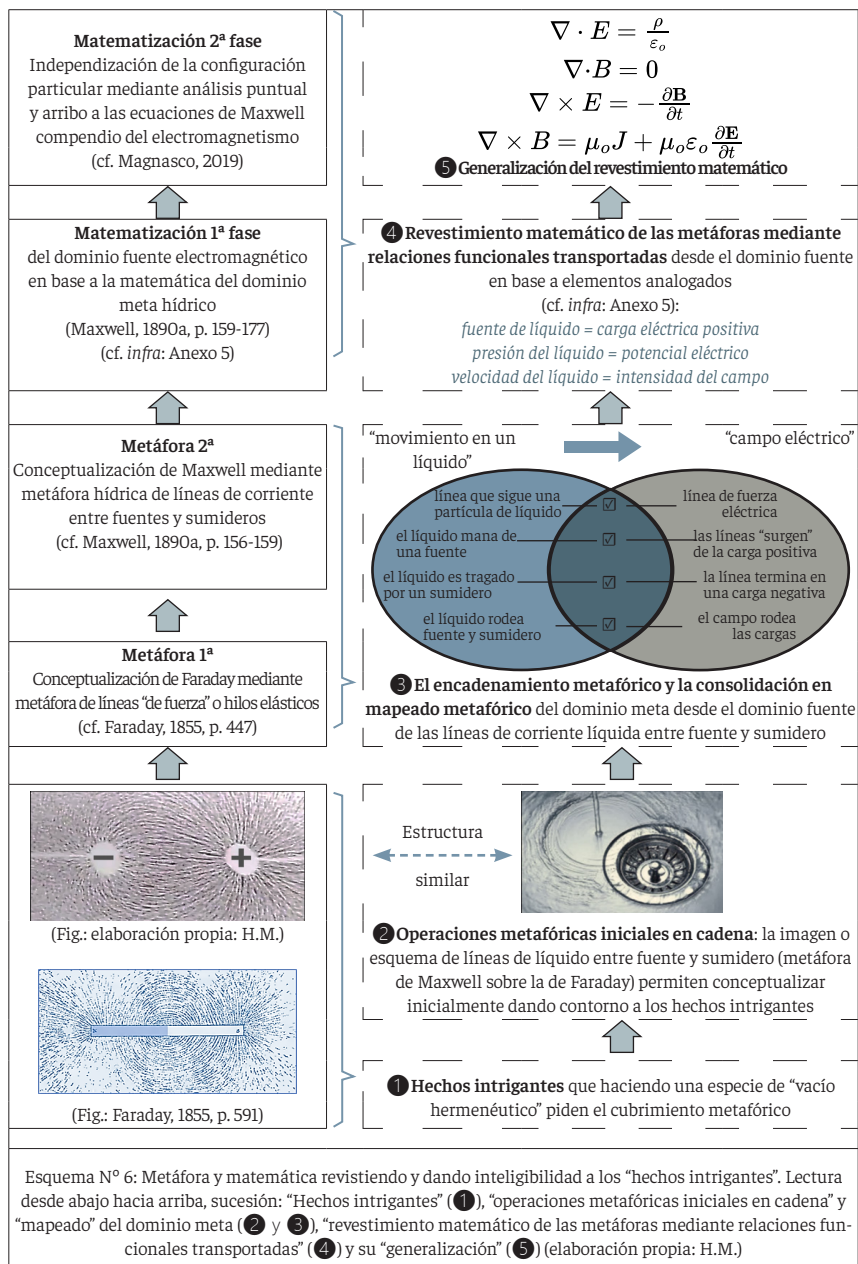
Ofrecemos a continuación dos esquemas, el primero clasifica y relaciona las metáforas que constituyen el *organismo conceptual metafórico* y el segundo es la esquematización de la aplicación del mismo al caso del electromagnetismo.

§. Relaciones básicas en el organismo conceptual metafórico

Proceso metafórico	Designación y vinculación	Ejemplos	Característica
 Estrategia de traslado de un esquema familiar sobre un dominio que se intenta inteligir y que produce una superposición de dominios	 Metáfora estructuradora	 El campo eléctrico puede verse como un flujo de agua entre fuentes y sumideros / una discusión se estructura como una guerra	 Dominio fuente y meta se relacionan en “muchos” casilleros o características notables, hay una estructura común, cf. Esquema N° 2
	 Metáfora conceptual	 El electrón es un sumidero del campo eléctrico / Ánimo bajo	 Dominio fuente y meta se relacionan en “pocos” casilleros o características notables, cf. Esquema N° 4
 Traslado desde lo corporal y emocional (base somática-emocional: arriba-abajo, adentro-afuera)	 Metáforas sustancializadoras y orientacionales	 El electrón es una partícula / Bueno es arriba (Malo es abajo) / Adentro es correcto (Afuera es incorrecto)	 Base de los otros procesos metafóricos
Esquema N° 5: Relaciones básicas en el organismo conceptual metafórico (elaboración propia: H.M.)			

§. *Metáforas encadenadas entendiendo hechos intrigantes*

En el esquema siguiente intentamos ejemplificar dos cosas, la primera como se encadenan los procesos metafóricos ampliando el horizonte conceptual en la temática, y la segunda, como un traslado del esquema matemático desde el dominio fuente comienza un proceso de abstracción que en sus fases finales termina ocultando la imagen metafórica de base. En este ejemplo, las metáforas iniciales de Faraday y Maxwell quedan revestidas de una matemática que en sus expresiones finales (las 4 Ecuaciones de Maxwell) logra una síntesis, simetría y belleza que hacen exclamar al reconocido físico austríaco Ludwig Boltzmann “¿Fue acaso un dios el que escribió estos signos?” (Boltzmann citado por Darrigolp, 2002), lo cual marca la defunción de las vívidas metáforas. Seguiremos analizando este revestimiento matemático de las metáforas iniciales en el Capítulo 14.



Capítulo 2

APOSTILLAS SOBRE EL MODO HUMANO DE CONOCER, SU LÓGICA “ILÓGICA” Y LO EXPERIMENTADO COMO VERDADERO

*¡En qué mundo más extrañamente simplificado y falsificado vive la humanidad!
No tiene fin el asombro ante semejante prodigio ¡Cuán claro, libre, fácil y sencillo
hemos conseguido hacer todo cuanto nos rodea!*

Friedrich Nietzsche, “Más allá del bien y del mal”

En base a lo analizado en el Capítulo 1 formularemos algunas sentencias que interpretan conclusivamente o completan sintéticamente lo dicho. Es nuestro deseo que las mismas se sigan consolidando a lo largo del libro, de tal modo que puedan ser incluidas como parte de las conclusiones que naturalmente se desprenden de nuestro recorrido.

IX. APOSTILLAS SOBRE EL PROCESO REAL DE CONOCIMIENTO

§. *Apostilla 1: conocer es abducir*

El razonamiento ignorado que opera siempre

Analicemos más detenidamente el proceso metafórico ilustrado en el Esquema N° 6 del Capítulo 1. Ante fenómenos desconcertantes, que no sintonizan con lo conocido en la materia (❶), surge en el espíritu un esquema (❷ y ❸) que se infiere como *inteligencia probable* de los mismos, resultando una “hipótesis” que deberá contrastarse empíricamente (proponiendo experimentos cualitativos y cuantitativos, en los que intervienen los procesos metafóricos de revestimiento matemático materializados en ❹ y ❺).

Notemos que estamos estableciendo una *posible causa* para esos fenómenos por lo que estamos retrocediendo lógicamente de los efectos a las causas. Así, este tipo de inferencia es *retroductiva* porque procede de los efectos a las (posibles) causas, y es un tipo de razonamiento lógico llamado *abductivo*.

Al lado de los razonamientos más conocidos (deducción e inducción) la antigüedad distinguió también el razonamiento abductivo (así traduce Charles Sanders Peirce la *apagögé* de

Aristóteles¹), que es el de menor fortaleza lógica pero el de mayor grado de fecundidad cognoscitiva.² Esta fecundidad ha sido caracterizada y nominada por Charles Sanders Peirce como *uberty*. Este vocablo hace referencia a la *capacidad heurística* de esta inferencia antigua que él rescata y llama *abducción* o *generación de hipótesis*. Tal capacidad heurística es equivalente a capacidad fructífera o fecundidad (*uberty* se relaciona con *ubertà* del italiano que significa cualidad de ubérrimo).

Peirce aclara la esencia del proceso abductivo de la siguiente manera: “entendiendo aquí por abducción cualquier modo o grado de aceptación de una proposición como verdad, porque se ha descubierto un hecho o hechos cuya ocurrencia resultaría necesaria o probable en caso de que la proposición fuera verdadera” (Peirce, 2003 [1903], párr. 18).

Esta proposición que se acepta como hipótesis, sería en nuestro ejemplo formular la metáfora estructural: las líneas de fuerza que *son como* hilos elásticos (metáfora de Faraday) se organizan en torno a los polos magnéticos o cargas eléctricas como si se trataran de líneas de corriente líquida entre manantiales y desagüaderos (metáfora de Maxwell) (①, ② y ③).

Según Ch. S. Peirce la “abducción” o “retroducción” es un tipo de inferencia en base a la experiencia de vida previa del investigador que atisba un esquema analógico general (ley) a partir de lo particular, y este esquema “genera hipótesis” a partir de la *praxis* del

1. “En *On the Logic of Drawing History from Ancient Especially from Testimonies* (CP 7.164-255), del año 1901, Peirce expone su interpretación de los *Primeros Analíticos* [Aristóteles], traduciendo el término *apagōgē* por *abducción*.” (Álvarez, 2011, p. 75)

2. Es de destacar que Peirce observa que hay dos modos de desordenar el razonamiento deductivo REGLA-CASO-RESULTADO, uno arroja la inducción: CASO-RESULTADO-REGLA, el otro la abducción: RESULTADO-REGLA-CASO, según Peirce el grado de *uberty* aumenta con este desorden a la vez que disminuyen su fortaleza lógica (desde el concepto de lógica positivista) (cf. Rodríguez Rodríguez, 2005). Para ampliar este tema, ver Magnasco, 2024, Capítulo 2: *La metáfora escondida en la lógica*, subtítulo: *La influencia de las metáforas sobre los razonamientos clásicos*.

observador; *praxis* que es un modo particular de acceso a lo real y se presenta cargada de un bagaje de esquemas generales abstraídos o abducidos previamente porque han tenido éxito... Peirce dice:

La presunción, o, más precisamente, abducción [...] proporciona al razonador la teoría problemática que la inducción verifica. Al encontrarse a sí mismo enfrentado con un fenómeno distinto a lo que hubiera esperado bajo esas circunstancias, examina sus características y advierte algún carácter o relación entre ellas singular [traslado metafórico], que al instante reconoce como característico de alguna concepción que ya está guardada en su mente [analogía = REGLA], de modo que es sugerida una teoría que explicaría (esto es, que haría necesario) eso que es sorprendente en el fenómeno [abducción del CASO a partir de la REGLA]. [...] La presunción es la única clase de razonamiento que proporciona nuevas ideas, la única clase que es, en este sentido, sintética. (Peirce, 2001 [1901], párr. 5, 6 y 7 —o números 2776 y 2777—) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Notar que el proceso metafórico permite obtener la REGLA en base a la cual funcionará la Abducción. Nuestra investigación se orientó a desentrañar (validar) epistemológicamente esta inferencia o mecanismo de generación de hipótesis en ciencias “duras”,³ que habilita propuestas interesantes para la docencia (ver *supra*: *Oportunidad en la enseñanza de la ciencia* en la Introducción e *infra*: *Aspecto educativo de la intertextualidad* en el Capítulo 7 y *Aspecto educativo de la fusión* en el Capítulo 9). El proceso metafórico así caracterizado parecería inscribirse en un proceso irreducible (no reemplazable) de construcción cognitiva inferencial “retroductiva” (en cuanto va —al contrario de la deducción— de

3. El positivismo llama ciencias “duras” a aquellas que tienen (supuestamente) “dos patas duras”, una en lo indubitable del “punto fijo del contacto” con la empiria y la otra pata en las ciencias formales matemática y lógica.

los efectos a las posibles causas, y hemos adscripto al razonamiento abductivo⁴) que puede resumirse en un “proceso creativo” o ingenioso, base del avance científico.

Cabe destacar que esta generación creativa de hipótesis con-comita con la generación de un “decir” hipotético sobre aquello que se busca conocer, por lo que se involucra el tema relativo al lenguaje de la ciencia. Veremos que el lenguaje y su “decir” tiene una dimensión creativa y ontológica (por algo hablamos en el Capítulo 1 de las metáforas ontologizadoras, cf. *infra*: *Apostilla 6: Las innovaciones semánticas son también ontológicas*), estudiada por la hermenéutica contemporánea de la línea Heidegger-Gadamer-Ricœur que asumimos como herramienta en nuestra investigación y que afirma “la condición originariamente lingüística de toda experiencia humana. La percepción se dice, el deseo se dice” (Ricœur, 2006, p. 31). La ciencia tradicionalmente ha pretendido un “decir” desambiguado positivista (constatado empíricamente) y lógico (que se resuelve en procesos deductivos), postura que arranca con el Wittgenstein del *Tractatus Logicus Philosophicus* y que aspira a un lenguaje de tipo “pictórico”, esto es, que “pinta” la realidad con un lenguaje liberado de ambigüedades y ficciones metafísicas (lo cual introduce una postura sobre la semántica: la misma es la relación “pictórica” palabra-cosa empírica).⁵ Este lenguaje de tipo pictórico está suponiendo que lo que la ciencia produce es isomórfico con el comportamiento del mundo.

4. La operación metafórica permite obtener la REGLA para que la abducción funcione (recordemos el esquema lógico de este razonamiento: RESULTADO + REGLA = CASO)

5. La posibilidad de un pensamiento sin palabras —o “pensamiento silencioso”— pone en entredicho a la teoría pictórica de Wittgenstein, cf. *infra*: *Capítulo 10: El vacío hermenéutico producido por los hechos problemáticos a los que se enfrenta la ciencia y su cubrimiento exitoso por la inteligencia aportada por la metáfora*.

La abducción opera a partir del proceso metafórico previo⁶ que involucra esquemas que ha forjado la vida del que interpreta⁷ desde el “paradigma hermenéutico”.⁸ Hay una ubicuidad en el proceso abductivo del conocimiento (o del conocer por lo conocido que se eleva en un plus de sentido), por lo que se sigue abonando la hipótesis de que entre el conocimiento de la vida cotidiana y el científico no hay un salto cualitativo sino una evolución,⁹ en tanto los dos hacen pie en lo conocido mediante procesos metafóricos. Esta ubicuidad del proceso es ejemplificada con mucha fuerza por Charles S. Peirce con su conocido relato sobre la azalea:

6. Analizando lógicamente el mecanismo inferencial, nuestra postura sostiene que la analogía resulta (es producto) del mecanismo metafórico (que la engendra) y sobre esta construcción analógica —de base metafórica— opera la abducción. La operación metafórica provee la REGLA para que la abducción funcione. Estamos describiendo la abducción en términos tradicionales como la secuencia esquemática RESULTADO + REGLA = CASO, es decir el término medio de la secuencia es necesario para que funcione la inferencia.

7. Estos esquemas son destilaciones de muchas experiencias en la que el sujeto intenta afrontar la vida de forma económica, buscando patrones o simetrías que le permitan de algún modo dominar lo que lo rodea y a veces amenaza. Hay una especie de “conjuración del caos” que se manifiesta en la operación de la “vida operante” frente al “horizonte del mundo”.

8. En la versión de la línea hermenéutica Heidegger, Gadamer, Ricœur.

9. Evolución que lo matematiza pasándolo por la criba de la experimentación. El problema que suele darse en las aulas es que 1) se parte del conocimiento científico como un “cuerpo inalterable” de conocimientos (recaídos en la inmediatez) organizado quasi axiomáticamente (organizados artificialmente, cf. *infra*: *La Ley de Gravitación en los textos de Ciencia* en Capítulo 5 y *Axiomatización con devaluación de la contrastación empírica* en el Capítulo 6) que resuelve en “transmisión” la enseñanza; 2) no se aprovechan los avatares de su consolidación evolutiva para ayudar al alumno a subir la cuesta abstracta con una metáfora histórica que ayude (cf. Bruner, 2004, p. 58); 3) el alumno no precavido “asimila” los conocimientos científicos (organizados y sistemáticos o fuertemente relacionados entre sí) al modo en que se acumulan los conocimientos de la vida diaria (problema metacognitivo) y al no tener un campo útil de aplicación rápidamente los olvida (aun aprobando la materia con buenos resultados en las evaluaciones, cf. experimentos de Halloun & Hesternes en Bain, 2007).

Mirando a través de mi ventana en esta encantadora mañana de primavera veo una azalea en floración. ¡No, no! No veo eso; aunque tal es la única manera en la que puedo describir lo que veo. *Eso* es una proposición, una frase, un hecho; pero lo que percibo no es una proposición, frase, o hecho, sino sólo una imagen, que hago inteligible en parte mediante un enunciado de hecho. Ese es un enunciado abstracto, pero lo que veo es concreto. Realizo una abducción cuando hago tanto como expresar en una frase cualquier cosa que veo. La verdad es que la fábrica total de nuestro conocimiento es un fieltro enmarañado de puras hipótesis confirmadas y refinadas por inducción. No se puede lograr ni el más pequeño avance en el conocimiento más allá de la etapa de la mirada perdida sin efectuar una abducción a cada paso. (Peirce, 2009 [1901], párr. 18¹⁰)

Notar en esta afirmación —sobre la azalea y sobre cualquier otra— los procesos escondidos que incluyen en el objeto patrones de simetría, de economía perceptiva (cf. *supra*: *Economía: el gozo de las semejanzas* en el Capítulo 1) de búsqueda de simplicidad.

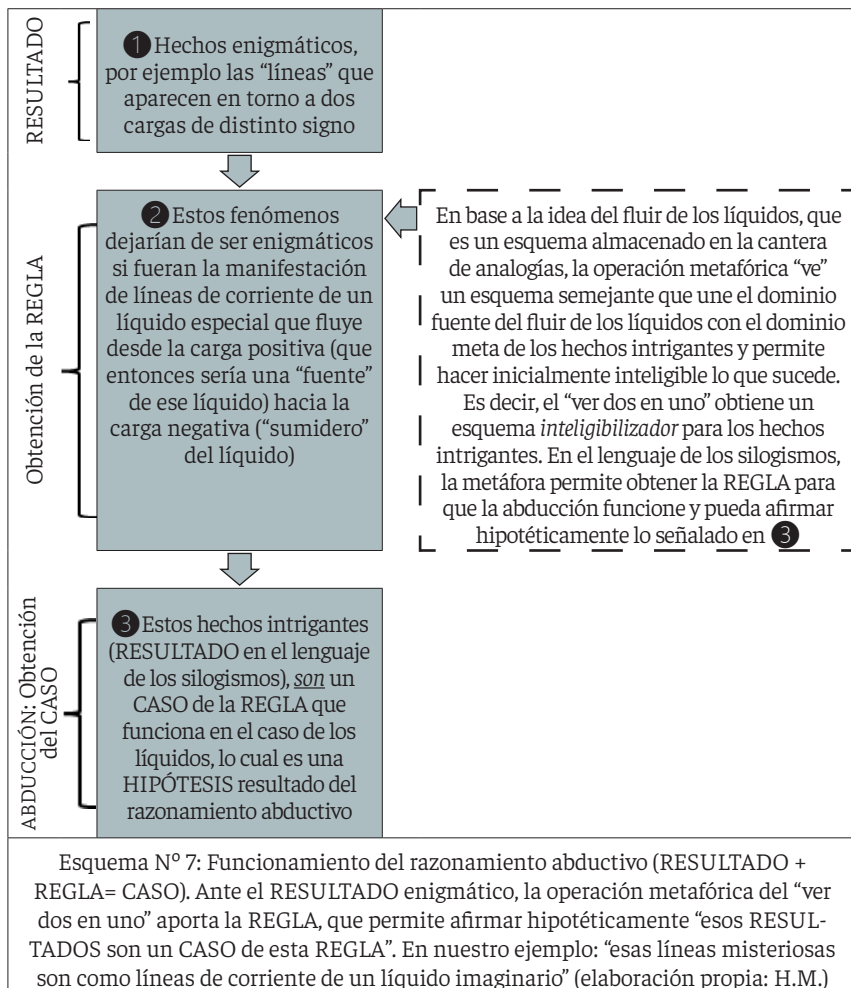
El reconocimiento de la azalea en base al enfoque de elementos relevantes que sintonizan con lo almacenado en la cantera de analogías nos está diciendo que todo acto de reconocimiento involucra un traslado metafórico.

Es decir, tanto frente a hechos o fenómenos intrigantes (porque no encajan con lo conocido en ese dominio) como frente a lo aún no reconocido (como los colores y movimientos que luego son reconocidos como una azalea en plena floración) funciona el mismo razonamiento abductivo que va de los efectos a las causas o —en el lenguaje de los silogismos— de los RESULTADOS

10. Se trata del MS 692, este manuscrito pertenece a las cartas dirigidas a su discípulo William James (1842-1910), filósofo y psicólogo de la Universidad de Harvard.

al reconocimiento de los mismos como CASO de determinada REGLA (regla “almacenada” en la cantera de analogías mental).

Podemos esquematizar el razonamiento abductivo o abducción de la siguiente manera:



Esa especie de “isla” —cognoscitivamente hablando— que son los “hechos enigmáticos” (➊ en el esquema anterior), desde el

punto de vista semiótico y utilizando la terminología de Charles S. Peirce son una “primeridad”. Una “primeridad” es una categoría “faneroscópica”¹¹ (perdone el lector o lectora si le resulta esotérico el calificativo, cf. *infra*: Capítulo 13: *La lógica de la ciencia es la de la metáfora o “silogismo de la hierba”: una teoría matemático-relacional de formación de conceptos*), que designa a un fenómeno que no tiene vinculación o relación con ninguna otra cosa¹² (como esos *hechos enigmáticos*).

En el razonamiento recién esquematizado aparece en segundo término (②) una REGLA o Esquema enfocado (metafóricamente) en la cantera de analogías, que semióticamente hablando es una “segundidad”, es decir, algo que tiene relación con una segunda cosa (en nuestro caso, el esquema de los flujos de agua tiene conexión con los hechos enigmáticos de las líneas visualizadas) pero no con una tercera.¹³

11. De *fanerón*: “el total de todo lo que de algún modo o en algún sentido está presente en la mente, con independencia absoluta de si corresponde a algo real o no, (Peirce, CP 1. 284; 306)” citado por Vericat (1988), equivalente a *phenomenon*: “todo lo que en cualquier sentido está ante nuestras mentes”, (Peirce, CP 8. 265)” citado por Vericat (1988). Este concepto es clave de su fenomenología.

12. *Primeridad* es el “modo de ser de aquello que es tal como es, de manera positiva y sin referencia a ninguna cosa” (Peirce, 1974, p. 86). Como modo de ser (categoría metafísica) es una *posibilidad* (cf. Ferrater Mora, 1964, p. 268).

13. *Segundidad* es el “modo de ser de aquello que es tal como es, con respecto a una segunda cosa, pero con exclusión de toda tercera cosa” (Peirce, 1974, p. 86). Como modo de ser (categoría metafísica) es una *actualidad* o *existencia* (cf. Ferrater Mora, 1964, p. 268).

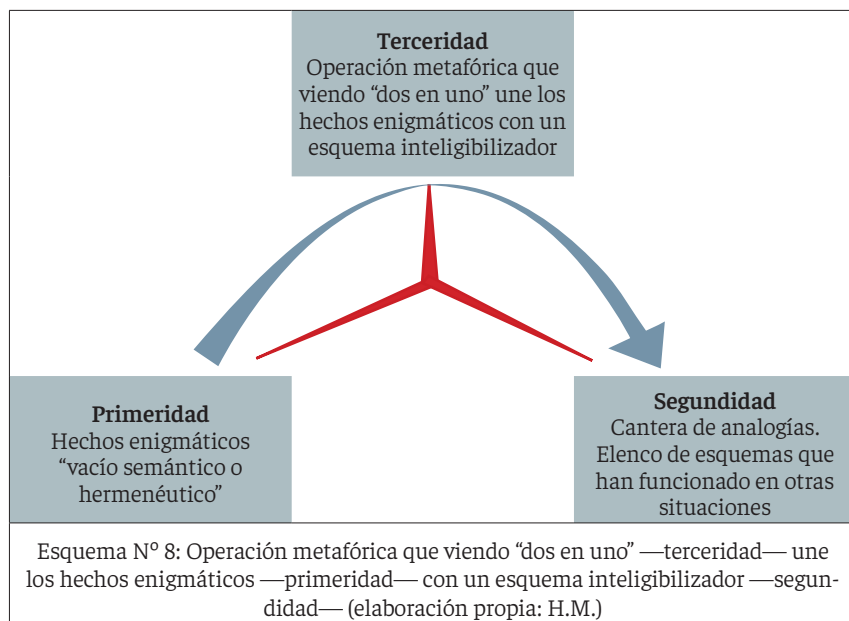
Finalmente surge la abducción que se expresa en la hipótesis (3), ella es una “terceridad”¹⁴ porque une o se relaciona inextricablemente con dos cosas: la “primeridad” (hechos enigmáticos) y con la “segundidad” (esquema o REGLA de la cantera de analogías), afirmando que esos hechos enigmáticos o RESULTADO son un CASO de la REGLA de los fluidos.¹⁵

Podemos graficar este razonamiento y su dinámica tomando como base el signo triádico¹⁶ peirceano:

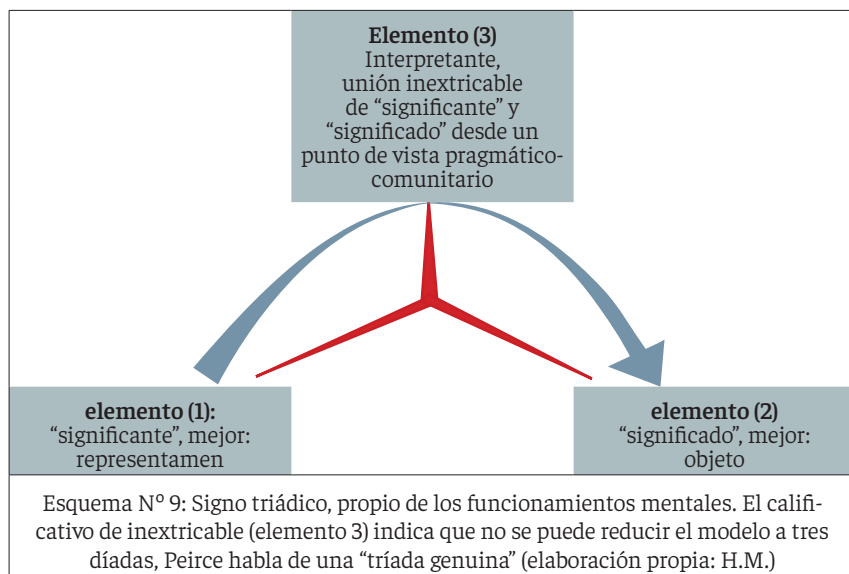
14. *Terceridad* es el “modo de ser de aquello que es tal como es, al relacionar una segunda y una tercera cosa entre sí” (Peirce, 1974, p. 86). La terceridad es la relación triádica que se actualiza entre un representamen y su objeto, es considerada en el orden de la razón —razonabilidad—, de la ley, del hábito (cf. Ferrater Mora, 1964, p. 268) y de la representación —significatividad—. Aquí ingresa la operación metafórica que une en tensión desde el lugar de la terceridad los hechos enigmáticos con el esquema que proviniendo de un ámbito extranjero anida en la cantera de analogías.

15. Para un análisis más profundo y detallado sobre la participación de la metáfora en el razonamiento abductivo desde un punto de vista semiótico ver Magnasco, 2024, Capítulo 4: *La metáfora que habla e importuna la lengua*. Especialmente el subtítulo: *El vacío como primeridad. Análisis semiótico de la metáfora*.

16. A diferencia del signo diádico de De Saussure (significante-significado) Peirce introduce en el ser de su signo la dinámica de la vida de una comunidad como hablantes, escribientes y experimentadores de lo real a través de un tercer elemento denominado Interpretante. Peirce marca entonces tres elementos en su signo (que puede ser lingüístico o de otro tipo): “Un signo, o representamen, es algo que está por algo para alguien en algún aspecto o capacidad”, resaltamos en itálicas los tres elementos: 1) algo, 2) algo, 3) alguien. El primer “algo” es el representamen (asimilable con muchas reservas al “significante”), el segundo “algo” es el objeto inmediato (asimilable con muchas reservas al “significado” que en Peirce no es único como en Saussure), y el “alguien” es el interpretante que hace la unión de los otros dos elementos y es de naturaleza pragmático comunitaria: “Un signo, o representamen, es algo que está por algo para alguien en algún aspecto o capacidad. Se dirige a alguien, esto es, crea en la mente de esa persona un signo equivalente o, tal vez, un signo más desarrollado. Aquel signo que crea lo llamo interpretante del primer signo. El signo está por algo: su objeto. Está por ese objeto no en todos los aspectos, sino en referencia a una especie de idea, a la que a veces he llamado fundamento del representamen” (Peirce, 2003 [c. 1897], n° 2228).



Note el lector o la lectora que lo esquematizado es una operación semiótica o “semiosis” es decir, un esquema de las operaciones que desde un “significante” generan el “significado”. Como aclaramos en nota anterior, Peirce no habla de la diada “significante” y “significado” (terminología de De Saussure), pues ellos contienen la idea de algo fijo “un significado” asociado indisolublemente a “un significante”, lo cual elimina toda “terceridad”, es decir, la vida y las distintas situaciones de los intérpretes. Peirce habla respectivamente de *representamen* (elemento 1) y de *objeto inmediato* (elemento 2, interior a la semiosis), que son enlazados por un tercer y fundamental elemento llamado *interpretante*.



Por ejemplo, el *representamen* (o —para entendernos— “significante”) “fuego”, no tiene un único *objeto* (o —para entendernos— “significado”), ya que no es lo mismo que alguien diga “prendí el *fuego* para el asado” que alguien grite “¡*fuego!*”... Para decirlo rápidamente, un mismo significante tiene distintos significados y la diferencia la hace el tercer elemento de la tríada, el interpretante.¹⁷ En un diccionario, esto queda reflejado en las distintas acepciones de una misma entrada del diccionario (acepción: “Cada uno de los significados de una palabra según los contextos en que aparece”, DRAE), lo cual habla de un “significado” o “significados” que son engendrados o construidos desde y para la vida de una comunidad.

17. Volvemos a remitir para un análisis más detallado que enlaza el signo peirceano con el proceso mental de la semiosis y sobre como una primeridad como posibilidad puede ocupar el lugar del elemento (1) o representamen a Magnasco, 2024, Capítulo 4: *La metáfora que habla e importuna la lengua*, especialmente el subtítulo: *El vacío como primeridad. Análisis semiótico de la metáfora*.

§. Apostilla 2: conocer es olvidar detalles y cartografiar

Nosotros hemos ubicado el proceso metafórico como vehículo del conocimiento, del conceptualizar. Hay una cantera de esquemas familiares que se han ido decantando y que siendo la quintaesencia de numerosas experiencias¹⁸ se constituyen —a través de la metáfora— en órganos económicos de asimilación y construcción de la realidad y en un concomitante “nombrar” (generación de léxico, cubrimiento de “vacíos semánticos”) y predicar (predicación impertinente que cubre el “vacío hermenéutico”). Ya hemos referido que en este proceso hay una economía de recursos (cf. *supra*: *Aberraciones y caprichos* en el Capítulo 1) al aplicar —no sin tensiones— el esquema conocido sobre lo desconocido.

Esa cantera económica es como la caja de elementos de trabajo de un cartógrafo, el proceso metafórico es un cartografiar. Pensemos en un territorio y en su mapa. Claramente el mapa no es el territorio, pero ese mapa nos permite movernos y de algún modo poseer ese territorio, dominarlo. Conocer es un cartografiar y esto se da tanto en la vida diaria como en la tarea científica.

Creo que es pertinente aquí traer el pensamiento de J. L. Borges que en “*Del rigor en la ciencia*” (Borges, 1960) y en “*Magias parciales del Quijote*” (Borges, 1952c) imagina un cartógrafo que elabora un mapa perfecto, con todos los detalles del territorio, tan pormenorizado que no tiene más remedio en su obsesión que incluirse en el mismo cartografiado dibujando el mapa. Este mapa resulta totalmente inútil, el rigor de los detalles desvirtúa el mapa e impide el conocimiento. También imagina Borges a una persona que no puede olvidar nada ni obviar detalles concluyendo que tal persona

18. Como por ejemplo la experiencia de los flujos de agua o de todo lo que de algún modo fluye y que dio tanto a Maxwell como al sujeto Delta de las experiencias de Gentner & Gentner una base para metaforizar y conocer en el ámbito de la electricidad. Cf. *supra*: *La cantera económica de esquemas* en Capítulo 1.

—“*Funes el memorioso*” (Borges, 1944)— era incapaz de pensar... pensar, conceptualizar, implica obviar detalles, olvidarlos...

En la tarea científica en todos los casos (método inductivo, método hipotético deductivo) hay un factor común: cierta necesidad¹⁹ de traducir o “cartografiar” (cf. Samaja, 2004, p. 31) la realidad (lo “exógeno”) a sistemas de formalizaciones internas (lo “endógeno”) cuya característica es la no contradicción lógica interna (logrando una paradójica capacidad de concordancia “exógeno” - “endógeno”, cf. los ejemplos de Faraday y Maxwell).

En este conocer como cartografiar hay un necesario obviar detalles superfluos del *territorio* enfocando diferencias o patrones interesantes que constituirán el *mapa*. Lo que resulte superfluo o interesante dependerá en última instancia de esquemas de acción que han tenido éxito y que se vinculan con la supervivencia o evolución de un organismo: “Ahora bien, una explicación es el cartografiado de los fragmentos de una descripción sobre una tautología, y la explicación será aceptable en la medida en que uno esté dispuesto a aceptar los nexos de la tautología” (Bateson, 2002, p. 97) y tal aceptación de los nexos tautológicos “Es siempre una cuestión de fe, imaginación, confianza, rigidez, etc., del organismo, o sea, de ti o de mí” (p. 97).

Este tema del conocer como un “cartografiar” recorre toda la historia del pensamiento occidental partiendo del pensamiento griego, dice Bateson sobre la controversia de los pitagóricos con sus predecesores que podría sintetizarse en una pregunta sobre el conocimiento: “¿Tu pregunta es de qué están hechas las cosas, de tierra, fuego, agua, etcétera [es decir, el *territorio*] o preguntas cuál es su *patrón* [es decir, el *mapa*]?” Pitágoras era partidario de preguntar por el patrón y no por la *sustancia*” (Bateson, 1991, p. 306).

19. Parecería que el objetivo de la ciencia es: “*construir síntesis que satisfagan las necesidades intelectuales comunes a toda la humanidad*” (Lukasiewicz, lógico polaco citado por Samaja, 2004, p. 30, el subrayado es propio: H. M.).

El tema de la diferencia entre el mapa y el territorio, se hace famosa en la afirmación de Alfred Korzybski “el mapa no es el territorio” o “el mapa no cubre todo el territorio” (Korzybski, 1951, párr. 13 y 20 del subtítulo “Los sistemas noaristotélicos²⁰ de lenguaje”). Si bien estas sentencias de Korzybski se refieren al lenguaje y su semántica,²¹ son tomadas por Gregory Bateson que la extiende epistemológicamente al fenómeno del conocimiento:

Lo que veo cuando lo miro a usted es, en realidad, la imagen [mapa] que yo tengo de usted [territorio] o usted ve la imagen que usted tiene de mí. Esas imágenes nos parecen proyectadas en el mundo exterior [confundiendo el mapa con el territorio] pero distan mucho de ser aquello de lo cual decimos “Lo vemos”. Para citar de nuevo a Korzybski: “El mapa no es el territorio”, y lo que yo veo es mi mapa de un territorio (parcialmente hipotético) que está en el mundo exterior, una cara, una camisa verde, etc. (Bateson, 2006, p. 272) (aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

Bateson dice “Muy poca gente parece darse cuenta de la enorme ‘fuerza’ teórica de esta distinción que hay entre lo que ‘veo’ [mapa] y lo que está en el mundo exterior [territorio] [...] a causa de la inconsciencia total de los procesos de percepción” (p. 272, aclaraciones entre corchetes propias: H.M.) y agrega que “lo que pasa del territorio al mapa —es decir, del mundo al cerebro— es noticias de diferencias [informaciones relevantes]” (p. 266, aclaraciones entre corchetes propias: H.M.).

Así, no es descaminado decir que la tarea científica consiste en realizar un *cartografiado tautológico* (cf. Bateson, 2002), es decir la ciencia realiza un “mapeo” sobre hechos o fenómenos “que piden

20. Así, sin separación entre las palabras, está en el original como una especie de calificativo.

21. En tanto las palabras son como *mapas* que se refieren a cosas que son como *territorios*.

explicación”. Este mapeo es “tautológico” en tanto reconstruye en lenguaje lógico matemático (lenguaje adscripto a lo universal) —vía deducción— la “vida íntima” de esos hechos o fenómenos.

Nosotros venimos sugiriendo una fase intermedia de “cartografiado metafórico”, esta metáfora (como la de la hidrodinámica de Maxwell) es revestida luego —no sin pérdida— por el lenguaje matemático de los modelos. Es interesante que algunos estudiosos (Álvarez, 2003; Owen, 2003) incluyan en el mapeo a la metáfora:

“El mapa no es el territorio, ningún mapa cubre todo el territorio y todo mapa es autorreflexivo”. Los famosos axiomas de la Semántica General Korzybskiana —que la PNL [Programación Neurolingüística] asumió como propios— son perfectamente aplicables al empleo de las metáforas; de este modo, cualquier metáfora por definición tiene que basarse en algo diferente de aquello a lo que se refiere; además, el valor de las metáforas reside en subrayar los aspectos más relevantes de la situación que representan (Álvarez, 2003, p. 22) (aclaramiento entre corchetes propia: H.M.)

En otras palabras, la ciencia procura realizar una traducción de lo externo a una tautología, es decir, a una entidad que es constituida mediante un encadenamiento axiomático-deductivo. J. Piaget observa que en ciencia hay *un interés* por la axiomatización, y dice respecto de la actividad de los científicos en las ciencias de la naturaleza que ésta se produce “como si el físico se esforzara, con sentimiento de culpabilidad, en esconder lo que se debe a la experimentación (empírica) y en hacer creer con una cierta hipocresía que todo lo ha deducido [1979, 125-126]” (Piaget citado por Samaja, 2004, p. 30).²² En este sentido y hablando del “cartografiado” de los fenómenos sobre una tautología (que es lograda focalizando aspectos

22. Esta actitud se traslada a la enseñanza que se resuelve en una transmisión de conocimientos o contenidos, prolijamente secuenciados y encastrados, donde no existe ningún “resquicio” para la creatividad o el ejercicio del ingenio.

del mar de sensaciones y relacionándolos en base a cierto esquema) dice Bateson: “Por algún motivo los seres humanos valoran enormemente esta combinación de maneras de organizar la información o material [1980,75]” (cf. Samaja, 2004, p. 33).

Este “motivo” que menciona Bateson se puede relacionar con el *ricorsi* de G. Vico y con toda la necesidad de economía ante el mar de estímulos que nos envuelven (cf. *supra*: *La cantera económica de esquemas* en el Capítulo 1 donde marcamos la dimensión económica del proceso metafórico e *infra*: *El corsi-ricorsi: la cantera de analogías y el proceso metafórico*). Cartografiar es —en algún sentido— obviar detalles “superfluos”.

Este “mapeado” es una reconstrucción o construcción lógico-matemática del objeto que produce la sensación de haberlo obtenido “a priori”, es decir, como pudiendo prescindir —paradójicamente— de la empiria. Esta reconstrucción se conoce como “el dilema del teórico”²³ y al respecto traemos una interesante afirmación de Marx rescatada por Juan Samaja:

[...] la investigación debe apropiarse pormenorizadamente de su objeto, analizar sus distintas formas de desarrollo y rastrear su nexo interno. Tan sólo después de consumada esta labor, puede exponerse adecuadamente el movimiento real. Si esto se logra y se llega a reflejar idealmente la vida de ese objeto, es posible que al observador le parezca estar ante una situación apriorística (1978, T.I, V.I, 18) (citado por Samaja, 2004, p. 31)

Notar cómo Marx describe —en otras palabras— el concepto de “cartografiado” sobre una tautología. En ciencias físicas e ingeniería estos “cartografiados” terminan transmutándose en “modelos”, el cartografiado se presenta en primera instancia como una analogía

23. Para un estudio histórico y holístico sobre las propuestas de resolución de la contradicción interna de la ciencia y el dilema del teórico, ver Samaja, 2004.

fruto de un traslado metafórico a la que luego se la “matematiza”. Esta matematización da seriedad al conocimiento científico, pero entendemos que su metáfora de base no puede olvidarse. Para científicos y epistemólogos —como Max Black (cf. Black, 1966, p. 231), Ernest Nagel (cf. Nagel, 2006, p. 154), Rom Harré (cf. Losee, 1991, p. 151), Mary Hesse (cf. Blank, 2001, p. 256)— las metáforas en ciencia no son ayudas iniciales a descartar lo antes posible, sino *el núcleo de la teoría* que la seguirá haciendo fecunda.

La expresión de lo real en un lenguaje altamente formalizado no deja de ser un poco artificial (por la falta de “acople”, cf. esquemas N° 7, N° 8 y N° 9 de este mismo capítulo más los esquemas N° 10, N° 11 y N° 12 sitios en el Capítulo 3). Aparece aquí un enlace con las posturas *cratilísticas* del lenguaje²⁴ que nos remiten a Platón y a matemáticos platónicos contemporáneos como Gödel y Penrose. Creo que es pertinente decir que el nombre de Platón es muy importante en el mundo matemático. Matemáticos de renombre como Alfred North Whitehead, Kurt Gödel o Roger Penrose se confiesan platónicos (cf. Penrose, 1996, p. 110 y 380-381; Penrose, 2006, p. 61-70 y Colbert, 1971, p. 12), al fundamentar filosóficamente la matemática en el mundo de las ideas de Platón.²⁵ Este mundo surge como una

24. Existe una postura sobre la lógica y sobre el lenguaje que podemos calificar de “cratilística” o “cratiliiana”. Ella representa la postura de Crátilo en *El Crátilo* de Platón. Para los cratilianos existen una lógica y/o lenguaje desprendido de toda convención y subjetivismo y con fundamento *in rerum* —en las cosas—. Cada palabra o concepto encierra todo el ser o esencia de la cosa —filosofar es hacer etimología—. Para Platón las cosas y sus relaciones son imperfectas pero remiten por reminiscencia a ejemplares perfectos sitios en el “mundo de las ideas”: objetivo, extramental y eterno. La matemática, la lógica y un lenguaje perfecto son parte de este mundo eterno, por lo que tienen un fundamento allí y son “despertados” en el alma desde las cosas (de algún modo tienen fundamento *in re* objetivo, cf. *infra*: postura de Penrose, 1996 y 2006 en Capítulo 7, subtítulo: *Naturaleza de la confluencia de la física y la matemática*).

25. Este mundo platónico fundamenta el conocimiento verdadero. ¿Qué es un conocimiento verdadero? Aquel que se nos presenta como fundamentado con el rigor de la matemática y por tanto inamovible. Para Platón la matemática

hipótesis sobre el conocimiento científico²⁶ que es probada “verosímilmente” por Platón en el *Timeo*.²⁷ Este mundo es una hiper-realidad en el que se encuentran los modelos eternos y perfectos de todas las cosas y hechos, una parte de este mundo contiene los entes matemáticos.

El corsi-ricorsi: la cantera de analogías y el proceso metafórico

En el cartografiado metafórico hay una construcción o reconstrucción lógica (en tanto que la metáfora que cubre el vacío *hermenéutico* es base de un razonamiento abductivo), y en toda construcción *lógica* hay una fuerza demostrativa porque es un *ricorsi* (recuperación de esquemas recurrentes útiles) de un *corsi* (*camino de vida*) protagonizado con anterioridad, es decir, que este cartografiado o construcción lógica no proviene “del más allá del mundo

no se identifica ni agota el mundo de las ideas, pero es un excelente ejemplo para comprender como su racionalidad y verdad es la que debe buscarse en los ámbitos naturales, sociales, políticos y antropológicos.

26. No hay nada en el universo que sea inmutable ¿cómo es entonces que logramos conocimientos inmutables sobre las cosas y hechos como lo son los de tipo matemático? Platón entiende que nuestra alma estuvo alguna vez en aquel mundo ideal y que al encarnarse lo olvidó, pero puede —mediante preguntas y guías adecuados (mayéutica socrática)— recordarlo y lograr conocimiento verdadero; así, conocer científicamente es recordar. Esta teoría se conoce como Teoría de la reminiscencia (en griego: *anamnesis*). Es desarrollada por Platón en el *Menón* donde tal personaje pregunta: “Me puedes decir, Sócrates: ¿es enseñable la virtud?, ¿o no es enseñable, sino que sólo se alcanza con la práctica?, ¿o ni se alcanza con la práctica ni puede aprenderse, sino que se da en los hombres naturalmente o de algún otro modo?” (70a) (Platón, 1992, p. 283). Esta pregunta da a Sócrates la oportunidad de ir llevando al lector mayéuticamente a descubrir que un concepto como el de “virtud” es algo que no se aprende sino que se recuerda, se despierta en el alma y se fundamenta en el mundo de las ideas.

27. En el diálogo Sócrates prueba la teoría de la reminiscencia planteándole a un esclavo que no sabía geometría un problema geométrico (82b-85b), guiándolo mediante preguntas (*mayéutica*) logra que el esclavo resuelva el problema dando a luz conocimientos que estaban en él como en estado de latencia, es decir de olvido.

platónico” sino de nuestra andadura como “vida operante” (mejor que decir “sujetos”):

[En toda construcción] lógica hay una fuerza demostrativa porque toda lógica es un *ri-corsi* de un *corsi* protagonizado con anterioridad y en el cual la propia subjetividad se ha constituido. Por eso comprender y aceptar como evidente significan lo mismo: rehacer la coordinación general de experiencias siempre posibles. (Samaja, 2004, p. 134) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Podemos vincular esta importante recuperación del *corsi-ricorsi* viconiano con la conformación de la “cantera de analogías” que han funcionado (y por tanto se conservan en la praxis como órganos de asimilación) a través de ese *corsi* y la operación metafórica como el *ricorsi* que cubre con cierta lógica (lógica “mayor” en el decir de Samaja, cf. Samaja, 2004, p. 190-191) el vacío hermenéutico.

Este “comprender” como un “rehacer la coordinación general de experiencias siempre posibles” (que define Samaja en la cita anterior) es fruto de la *praxis*, y de lo afirmado por Samaja se puede colegir que tanto objeto como sujeto, “mapeo” como “elementos de cartografiado” son construidos (cf. *infra*: *Horizontes del mundo y de la vida operante*). Esta situación recién planteada mina el punto de referencia o de origen del conocimiento tanto del empirismo como del racionalismo (cf. *infra*: Esquema N° 10 en Capítulo 3) y explica de algún modo por qué estas posturas aparecen y reaparecen constantemente en el debate.

Que toda lógica sea un *ricorsi* de un *corsi* explica el porqué de esa necesidad —o de esa naturalidad— de los seres humanos de cartografiar sobre tautologías (cf. *supra*: *Apostilla 2: Conocer es olvidar detalles y cartografiar*) y también explica que este proceso tenga normalmente éxito (cf. *infra*: *El instinto peirceano de adivinación* en Capítulo 10 y Peirce, 1988 [1903]).

Horizontes del mundo y de la vida operante

Hemos dicho en el título anterior que tanto *objeto* como *sujeto* o “mapeo” del objeto como “elementos de cartografiado” del sujeto son contruidos. Esto pone en entredicho la concepción heredada positivista de sujeto y objeto como entidades acabadas y dadas a la relación de conocimiento. Más que *relación* el conocimiento es una *transacción* (cf. *infra*: *Construcción conjunta de sujeto y objeto* en Capítulo 3), en donde vía metafórica el sujeto deja algo suyo en el objeto y el objeto es ocasión de esa actividad metafórica, esto es, hay un intercambio transaccional.

En este sentido, los conceptos de “horizonte de la vida operante” y “horizonte del mundo” permiten a Paul Ricœur salir del “círculo encantado” de la problemática del “sujeto” —como *cogito* cartesiano independiente de los objetos— y del “objeto” —como entidades metafísicas preexistentes determinadas— (cf. P. Ricœur comentando al último Husserl en Ricœur, 1975, p. 13).

El “último Husserl” (Ricœur, 1975, p. 13) habla, por un lado, del “horizonte de la vida operante”, es decir, un estrato de la experiencia anterior a la relación Sujeto-Objeto; en vez de un *cogito* enfrentado al mundo hay un ser vivo que tiene como horizonte de todas sus intenciones al mundo. Por otro lado, antes de la objetividad existe “el horizonte del mundo” cuyos objetos son configurados desde el diálogo con la “vida operante”. Por esto, desde esta hermenéutica ontologizadora, antes del sujeto existe “la vida operante” y antes del objeto el “horizonte del mundo”.

Es interesante advertir que básicamente “no se es para conocer sino que se conoce para ser” (cf. “Existencia y Hermenéutica” y “Heidegger y la cuestión del sujeto” en Ricœur, 1975, p. 7-30 y 129-131 respectivamente), y no se resuelve tal conocer en un solipsismo del *cogito* o de la conciencia sino en esa dialéctica que supone dos indefinidos que se necesitan para ser: el *horizonte del mundo* y el *horizonte de la vida operante*. Hay en estas

posturas como dice Ricœur: “una verdadera destitución de la problemática clásica del sujeto como conciencia [...] un cuestionamiento a la pretensión de la conciencia a erigirse en origen del sentido” (Ricœur, 1975, p. 25), tal pretensión es la versión racionalista de la ciencia.

§. *Apostilla 3: conocer es superar la contradicción interna de la ciencia*

Profundicemos un poco en el tema de la metáfora en tanto proceso de inferencia. Este “traer de otro lado” un esquema surge como una *inferencia frente a y desde los fenómenos*, esto es, con una *sorprendente* capacidad de inteligencia de los mismos (cf. *infra*: Capítulo 10: *El vacío hermenéutico producido por los hechos problemáticos a los que se enfrenta la ciencia y su cubrimiento exitoso por la inteligencia aportada por la metáfora*), aportándoles cierta lógica o razonabilidad y permitiendo una reconstrucción lógica de dichos fenómenos. Hemos compartido el ejemplo de Faraday continuado por Maxwell, marcando cómo desde la metáfora hídrica sobre esos hechos particulares se logró arribar a las ecuaciones fundamentales del electromagnetismo que es el lenguaje universal del modelo matemático (cf. Esquema N° 6 en Capítulo 1).

Este hecho del logro de “conocimiento universal” desde la andadura por lo particular —ámbito de lo no universal y de lo comprobable— es conocido como la *contradicción interna de la ciencia* (cf. Samaja, 2004, p. 30 y Samaja, 1996, p. 23):

Esa contradicción se establece entre dos exigencias propias del conocimiento científico: por una parte, la universalidad de derecho (o necesidad) que aspira a tener toda teoría científica y, por otra parte, la exigencia de comprobabilidad o constatación de sus afirmaciones, en los marcos de experiencias posibles, que se le exige. (Samaja, 2004, p. 30)

Es decir, la ciencia se propone algo contradictorio desde el momento que aspira a un conocimiento universal y necesario contando escuetamente con una comprobabilidad particular y contingente. En forma de sentencia: si decimos que se trata de conocimiento universal no puede ser comprobable (porque habría infinitos elementos a chequear) y si afirmamos que es conocimiento comprobable no puede ser universal (ya que está restringido a un número finito de casos de comprobación). En otras palabras “lo universal es lo contrario de lo particular, pero sólo lo particular es decidible, es decir, constatable mediante una secuencia finita de pasos de comprobación” (Samaja, 1996, p. 24).

Sin embargo, la ciencia lo logra. La reconstrucción o construcción lógico-matemática del objeto produce la sensación de haberlo obtenido “a priori”, es decir, como pudiendo prescindir de la empiria (en tanto no puede comprobarlo cabalmente), lo cual se conoce como el dilema del teórico (cf. la cita de Marx en *supra*: *Apostilla 2: conocer es olvidar detalles y cartografiar*). Este es el famoso problema de los conocimientos “sintéticos a priori” de la ciencia, “sintéticos” en tanto extienden el conocimiento al obtenerse desde la comprobación particular y a “priori” porque resultan “universales”. La pista de solución la lograremos mediante la síntesis entre lo que hemos dicho en *supra*: *kantismo evolutivo* (en Capítulo 1), en lo que diremos en *infra*: *Construcción conjunta de sujeto y objeto* (en Capítulo 3) integrada con la línea de la hermenéutica ontológica de Heidegger-Gadamer-Ricœur.

Esto que hemos dicho sobre el conocimiento científico, de algún modo pasa también en el conocimiento de todos los días, si bien no buscamos la universalidad y la necesidad, lo cierto es que la cantera de analogías en la que hace pie el mecanismo metafórico tiene características ideales en tanto habitan en nuestra mentalidad y de algún modo son cuasi-universales en tanto pueden aplicarse en muchas situaciones (en donde el mecanismo metafórico ve el dos en uno) pero a la vez ha sido obtenida mediante la andadura

por lo particular, a través de una destilación de esquemas que han funcionado o tenido éxito en la vida de todos los días.

Todo lo dicho tiene amplias implicancias en el proceso de semiosis simbolizadora humana que podemos resumirlo en que, para el ser humano, conocer es “adquirir el mundo”.²⁸

§. *Apostilla 4: conocer es textualizar*

Conocer es ganar terreno al caos, a lo que se presenta como desordenado, incoherente, contradictorio, o sentido como “cabos sueltos”. Ya hemos referido que cualquier sector de la realidad puede ser analizado a través de un número de variables tendiente a infinito que requiere algún esquema económico para orientarse (cf. *supra*: *La cantera económica de esquemas* en el Capítulo 1) y que es justamente el sujeto a través de su capacidad metafórico-imaginativa el que traza geografías útiles, mapas (de tipo cuasi-universal) que organizan el territorio (ámbito de lo particular) y con el que nunca se identifican (“el mapa no es el territorio”, cf. *supra*: *Apostilla 2: conocer es olvidar detalles y cartografiar*). Seguiremos analizando esta necesidad de cartografiar (cf. *infra*: *El necesario mapeo económico de un territorio pleno* en Capítulo 13).

Hemos visto que metaforizar implica producir una fusión (cf. *supra*: *Una especie de fusión transaccional* en Capítulo 1) entre los horizontes del mundo y de la vida operante y que siguiendo a Ricœur podemos asociarla a una “configuración” (*mímesis* II) de “cabos sueltos” o “hechos aislados” o heteróclitos, desde un saber previo o prefiguración (*mímesis* I o cantera de analogías) que nos conduce a una transfiguración de la propia vida (*mímesis* III).

28. Para ampliar este tema desde el punto de vista semiótico ver Magnasco, 2024, Capítulo 4: *La metáfora que habla e importuna la lengua*. Subtítulo: *La metáfora como creadora del lenguaje y del mundo del hombre*.

La configuración podemos verla como una textualización de lo heteróclito o caótico, es decir, como un “añadido”²⁹ que aúna en una *trama* que teje los cabos sueltos o fenómenos que hacían “vacío hermenéutico” con lo que ya se conoce (y con lo que se espera) produciendo las *propiedades textuales* de *coherencia* y *cohesión*.

Recordemos al detective Sherlock Holmes de Arthur Conan Doyle, cómo este era capaz de atar cabos sueltos y re-construir (o mejor construir) la historia que desentrañaba el enigma. Lo que el personaje producía era una textualización a través de razonamientos abductivos,³⁰ generando una narración imaginativa que daba la sensación de que los hechos han sido así y no de otro modo.

El detective, como el científico pone la clave del conocimiento en su actividad imaginativa, actividad que no es irracional, sino regulada por su “cantera de analogías”.

Metáfora, narración, historia, ensayo, ciencia son todos hijos de la imaginación, así lo refiere Ricœur recordando a Aristóteles: “Se puede llamar poética —siguiendo a Aristóteles— a la disciplina que trata de las leyes de composición que se sobreañaden a la instancia de discurso para conformar un texto que se considera como relato, poema o ensayo” (Ricœur, 2006, p. 17).

29. Sobre las implicancias creativas de este “añadido” ver Magnasco, 2024, Capítulo 3: *Metáfora y narración: ventanas a la creatividad*.

30. Cf. la relación de Charles S. Peirce con Sherlock Holmes en Sebeok & Umi-ker-Sebeok (1979).

X. APOSTILLAS SOBRE LO EXPERIMENTADO COMO VERDAD

§. *Apostilla 5: la verdad tiene que ver con una fusión artística*

Hasta aquí hemos visto que el científico o cualquiera que se dispone a conocer se acerca a los fenómenos con ciertos esquemas inteligibilizadores (podríamos hablar de una *prefiguración*), con ellos se produce una *configuración* metafórica de los fenómenos (visión de dos en uno, cf. *supra*: Esquema N° 8) y desde esta configuración hay una *reconfiguración* en la misma subjetividad del científico o agente del conocimiento que ha introducido un plus de realidad en el objeto y un plus de conocimiento en su bagaje.³¹

Al conocer (=metaforizar) quien conoce deja algo suyo en el objeto conocido y el objeto conocido deja algo suyo en el sujeto que conoce, hay una fusión (cf. *supra*: *Una especie de fusión transaccional* y *Fusión: a mitad de camino entre el observador y lo observado* en Capítulo 1). Tomando el modelo de la obra artística dice Grondin:

Al tratarse de una obra de arte, el “juego” se condensa en una figura, una obra que cautiva y que me descubre algo esencial, que se refiere a lo que es, pero que se refiere también a mí. Se refiere a lo que es porque es un *plus de realidad* que se presenta en una obra, es decir, una realidad más potente y más reveladora aún que la realidad misma que aquélla representa (Grondin, 2004, p. 74-75)

31. Cf. Magnasco, 2024, Capítulo 1: *La metáfora: actriz principal del conocimiento*, Subtítulo: *La metáfora como invitación a la transformación*.

Grondin marca aquí un plus de realidad que se presenta como *real*, como *verdadero*. Este encuentro no nos deja igual que antes:

Este encuentro con la verdad encarna al mismo tiempo un encuentro con uno mismo [...] porque la obra me interpela siempre de manera única. Esta es la razón por la que hay tanta variabilidad en las interpretaciones de las obras de arte. Pero la idea básica de Gadamer es que esta variabilidad es esencial al sentido mismo. (Grondin, 2004, p. 75)

Nuestra línea hermenéutica sigue la estela de Heidegger, Gadamer y Ricœur, por lo que explicitamos a continuación lo que está imbricado en estos párrafos (dicho sea de paso, Grondin a quien citamos es un reconocido estudioso de la obra de Gadamer).

Fusión de horizontes gadameriana

Haciendo una analogía con los textos —pensando en la realidad como un texto potencial a leer por un lector— en términos de Gadamer hay una “fusión” del mundo u horizonte ofrecido por el texto y el mundo u horizonte del lector mismo (“fusión de horizontes”), y la interpretación o inteligibilización del texto es una reconfiguración del mundo del lector.³² Entendemos que la realidad a veces presenta fenómenos que se experimentan como “cabos sueltos”, podríamos analogarlo a párrafos sueltos. Así como lo hizo Maxwell (que contaba con varios “párrafos sueltos”: por un lado, líneas de fuerza, por otro, elementos donde se concentraban o parecían confluir, etc.), puede lograrse la “textualización” de esos “cabos sueltos”, es decir, transportar un esquema desde otro ámbito

32. Cf. en Magnasco, 2024, Capítulo1: *La metáfora: actriz principal del conocimiento*, subtítulo: *Fusión metafórica como intertextualidad*.

que permita verlos como una unidad con sentido (en el ejemplo de Maxwell aparece la metáfora hídrica).

Ricœur: armar un texto proponiendo una trama

Ricœur (2006) establece que desde “cabos sueltos” o “hechos aislados” el historiador suele armar *un texto*, una narración que los conecta razonablemente. Que la historia que hace el historiador es parte de una ficción —que los hechos no contienen pero habilitan— es algo que no suele ser aceptado desde una concepción más bien positivista. Dice Ricœur:

Una noción ingenua del relato, como serie deshilvanada de acontecimientos, se vuelve a encontrar siempre en el trasfondo de la crítica del carácter narrativo de la historia. Sólo se ve allí el carácter episódico y se olvida la propiedad de configuración, que es la base de la inteligibilidad (Ricœur, 2006, p. 18)

La “configuración” en el caso de los textos se materializa en la “trama” o la “intriga”. Como hemos dicho (cf. *supra*: *Una especie de fusión transaccional* en Capítulo 1), es obra de la imaginación el producir el acercamiento lógico de elementos heteróclitos, tanto en la metáfora viva como en la trama de la narración (cf. *supra*: *Apostilla 4: conocer es textualizar* e *infra*: *Apostilla 9: Conocer es una operación “ilógica” de la imaginación*).

Triple mimesis ricœuriana

Ricœur (2006) habla de un *arco hermenéutico* que partiendo de la *prefiguración* va a la *configuración* y de allí a la *refiguración*; tal refiguración formará parte de una nueva prefiguración, entendiendo que este proceso es dialéctico y se vuelve espiralado (“círculo hermenéutico”). En *Tiempo y Narración* Ricœur explicita este arco que se

vuelve espiral (asociándolo a la “fusión de horizontes” de Gadamer) a través de la “triple mimesis” que se encuentra presente tanto en la elaboración de una narración o texto como en la lectura de un texto (cf. Ricœur, 2004).

El término *mimesis* —reiteramos— es tomado de la *Poética* de Aristóteles y según Albano no significa una imitación como reproducción sino una re-presentación creadora (cf. Albano, 2004), una transformación, por eso hay un ver dos en uno en el traslado metafórico, el dominio fuente no se fagocita al dominio meta sino que en la tensión se produce un plus, una creación.

La fusión como “triple mimesis” de Ricœur no es una realidad compuesta de tres pedazos o pasos o fases bien delimitadas sino algo que está imbricado en el fenómeno de la interpretación “de un texto” y compromete “al lector”; son nombradas por Ricœur como *mimesis* I, II y III. La *mimesis* I es la *prefiguración*, es decir, las figuras previas³³ que son bagaje de inteligibilidad, la *mimesis* II es la *configuración* “del texto”³⁴ y la *mimesis* III es la *refiguración* o la apropiación de “la obra” por parte “del lector”, dándose la “fusión” operada por el acto “de lectura”.

Riqueza y expansión nunca terminadas

Siendo que la interpretación de los fenómenos es cierta “fusión” de lo exógeno con lo endógeno y no un “reflejo” de algo “dado de antemano”, se puede habilitar a todo ser cognoscente a aportar desde sus esquemas prefigurantes cierta configuración creativa de lo que se “estudia”.

Para Gadamer, el “círculo” y la naturaleza dialógica y existencial de la interpretación rompe con la pretensión de un saber acabado, conceptual, universal y definido sobre la realidad. De algún modo

33. Compartidas por el autor y sus potenciales lectores en cierta tradición.

34. En la *trama* que constituye “la obra”. Cf. en Magnasco, 2024, Capítulo 3: *Metáfora y narración: ventanas a la creatividad*.

hace lugar al misterio y traduce más fielmente la realidad como un “decir inconcluso” y una razón “razonable”. Ricoeur concibe la circularidad como una oportunidad positiva que da lugar a la riqueza y a la expansión.

Debido a la fusión nunca terminada, fusión en la que el sujeto cognoscente deja parte suya en el objeto y viceversa, Gadamer en vez de sujeto como sustancia cerrada prefiere hablar —como sugerimos— de “horizonte de la vida operante” y en vez de objeto de “horizonte del mundo”. Así suele hablar de la interpretación como “fusión de horizontes”.³⁵

§. *Apostilla 6: las innovaciones semánticas son también ontológicas*

*Cada símbolo es una cosa viva, en un sentido
muy estricto y no como mera metáfora. El cuerpo
del símbolo cambia lentamente, pero su significado
crece de modo inevitable, incorporando nuevos
elementos y desechando otros viejos.
Charles Peirce, CP 2.222, año 1903*

Hemos visto que las innovaciones semánticas son un “plus” de sentido. Referimos ejemplos de plus de sentido logrado metafóricamente sobre las conceptualizaciones que se verbalizan como “aberraciones”, “caprichos”, “discusiones” y “naciones”. Nos preguntamos: ¿son también estas innovaciones ontológicas? Es decir: ¿hay un “plus” de *ser* que se crea con el “plus” de sentido? ¿La metáfora funciona simplemente en el ámbito de la comunicación “sin alterar” la realidad en su ser íntimo?

Aquí hay que tomar partido, y esta toma de partido no se produce “arrojando una moneda al aire” sino investigando. He referido

35. Cf. en Magnasco, 2024, Capítulo 2: *La metáfora escondida en la lógica*, subtítulo: *Horizonte de la vida operante y horizonte del mundo* y Capítulo 8: *Epistemología de la metáfora*, subtítulo: *Metáfora: entre el horizonte del mundo y la vida operante*.

en la Introducción a este libro mi experiencia con la metáfora como estudiante. Lo que más me intrigaba era que esa metáfora nos permitía conocer el ser íntimo de la realidad natural. Nos entusiasmaba que “eso” que queríamos aprender lo pudiéramos *experimentar* desde lo que ya conocíamos, siendo ese experimentar un acicate para hacernos preguntas interesantes e investigar por nosotros mismos.

La sensación vivida era que la metáfora nos llevaba a tomar contacto con una “verdad” de un ámbito abstracto. Notemos que en este intuir, explicar y comunicar metafórico se involucra un “decir”, esto es, una predicación impertinente pero fecunda por sus efectos cognoscitivos. La eficacia lograda tenía que ver con la captación de algo “verdadero” (que luego aparecía en el desarrollo de la teoría y en los libros de texto traducido o vestido con el ropaje matemático de los modelos).

Paradigma dialéctico de Vico

¿Por qué experimentábamos una verdad con una metáfora? Giambattista Vico lo ha expresado de modo contundente: “lo verdadero es lo obrado” (paradigma dialéctico de la construcción de conocimientos, cf. Samaja, 1996, p. 49-50) que podemos parafrasear como: *lo que se experimenta como verdadero, tiene que ver con esquemas exitosos que se han ido tejiendo y destilando en la “praxis” de quien busca conocer*. Lo que estábamos haciendo en nuestra época ingenieril era atisbar metafóricamente un esquema analógico general —esquema que anidaba en nosotros, en nuestra *praxis*— a partir de ciertos rasgos particulares manifestados en los fenómenos abstractos —como le sucedió a Maxwell con el esquema de las líneas—. Así la *praxis* se nos presenta como un modo de acceso o asimilación de lo real, cargada de un bagaje de esquemas generales abstraídos previamente desde nuestra andadura diaria que Samaja llama “cantera de analogías” (cf. Samaja, 2004, p. 138).

Entonces, desde nuestra experiencia como alumnos y las posteriores investigaciones nos hemos “convencido” de que no sólo la metáfora genera un mero “plus” de sentido, sino que en este plus está imbricado un plus ontológico.³⁶ Por eso no hablamos de ver “creativamente” sino “creadoramente” dos cosas en una”.

La hermenéutica ontológica

La teoría sobre la hermenéutica ontológica de la línea Heidegger-Gadamer-Ricœur, la hemos referido en *supra*: *El ser que puede ser conocido es lenguaje* en Capítulo 1. Y lo hemos hecho allí porque la sensación de estar observando algo dado directamente a los sentidos es algo muy poderoso. Esto se debe a la actuación de metáforas sustancializadoras en la constitución de los datos y de metáforas que basadas en estos “datos” y en la cantera de analogías generan las hipótesis (analizaremos esto con más detenimiento en *infra*: *La ficción de los puntos de partida de la “lectura” sin metáforas* en Capítulo 3).

Recordemos la base de nuestra postura hermenéutica y la importancia del “decir”:

- “el ser que puede ser conocido es lenguaje” (Gadamer, 1999, p. 567).
- “el lenguaje es la casa del ser. En su morada habita el hombre” (Heidegger, 2006, p. 11). Como ya comentamos (cf. *supra*: *¿Observación directa sin metáforas?* en Capítulo 1), este habitar del hombre en el lenguaje tiene como consecuencia que el mundo, sus hechos y lo que en él acontece, no puede ser pensado como una cosa “frente al hombre”, sino como un habitar que no tiene “dentro o afuera”.
- “los límites del lenguaje son entonces los límites también de nuestra comprensión” (Grondin 2004, p. 87).

36. Para un análisis semiótico sobre la experiencia de sentir la “realidad” extra-mental de este plus semántico logrado por la metáfora, ver Magnasco, 2024, Capítulo 4: *La metáfora que habla e importuna la lengua*, subtítulo: *La metáfora como creadora del lenguaje y del mundo del hombre*.

El traslado metafórico de “lo verdadero como existente”

Veremos más adelante (cf. *infra*: *La base física de las ideas “puras” evidentes* en Capítulo 7) que desde la andadura diaria por lo familiar, nosotros solemos asociar lo verdadero con cierta existencia física o hecho extramental. Este esquema básico y simplón “verdadero = existente fuera de nuestra mente” es el esquema que induce la conveniencia —incluso— de dar existencia extramental a las construcciones mentales matemáticas (en principio claramente endógenas). Así, matemáticos como R. Penrose y K. Gödel (cf. Penrose, 1996, p. 110 y 380-381 y Penrose, 2006, p. 61-70) postulan la existencia del mundo platónico extramental eidético que daría “verdad objetiva” a la matemática (de no ser así la matemática quedaría sujeta a la imperfección de las subjetividades) (este traslado metafórico desde el dominio de la vida diaria establece la verdad en el dominio meta).

Por lo tanto, los plus de sentido experimentados como ciertos, convenientes, “entusiasmantes”, por una operación semiótica de tipo triádico,³⁷ los experimentamos como “verdades objetivas”.

§. Apostilla 7: la verdad como fundación de sentido

La literatura funda el decir verdadero

Decíamos al inicio del camino que Lakoff & Johnson (2007) abordaban el tema de la metáfora como experimentar un tipo de cosa en términos de otra. Esto vincula la metáfora con la semántica y con la significatividad y da respuesta al interrogante: ¿por qué asociamos un sentido —entendido como verdadero— a determinadas palabras?

37. Volvemos a remitir a nuestro libro Magnasco, 2024, Capítulo 4: *La metáfora que habla e importuna la lengua*, subtítulo: *La metáfora como creadora del lenguaje y del mundo del hombre*.

Conectamos estos decires con las ideas de Gadamer (Gadamer, 1998) cuando habla de la función categorizadora del lenguaje o constituidora del mundo que nos abre a la verdad, no la verdad en el sentido tradicional de *adaequatio rei et intellectus* (adeacuación del intelecto a la cosa), como si la verdad de la cosa fuera previa al lenguaje sino a la verdad que anida en el lenguaje como fundación de sentido: “Esta fundación de sentido se hace por excelencia en el lenguaje de la creación literaria, de lo que los alemanes llaman *Dichtung* y que es más que la ‘poesía’ —como se suele traducir— en el sentido de ‘lírica’ o ‘versos’” (Vilar, 1996, p. 4).

Para la línea hermenéutica establecida por Heidegger-Gadamer-Ricœur, la literatura funda el decir verdadero: Gadamer defiende un humanismo sobre las bases tradicionales de la palabra, es decir, la escritura, la lectura y el diálogo y que frente al mundo científico-técnico que parece dominar la civilización actual, es defensor de la cultura literaria y artística que no debe morir sino convivir con la anterior. La literatura para el filósofo alemán es fundante de todo decir verdadero, de todo intento por alcanzar la verdad; el arte nos saca de la actitud de dominadores para entrar en la esfera del “decir” de las cosas. Este decir de las cosas no se recibe pasivamente sino por la fusión: para Grondin lo que Gadamer propone es que nuestro lenguaje es el lenguaje de las cosas vivido en nosotros (cf. Grondin, 2004, p. 89).

La dimensión categorizadora del lenguaje

Es importante aclarar lo recién dicho. Una de las tesis fundamentales de Gadamer se refiere a su concepción sobre la naturaleza del lenguaje natural humano. El lenguaje tiene varias funciones que han sido establecidas por R. Jakobson entre 1956 y 1960 sobre

el esquema básico de la comunicación;³⁸ esta clasificación es más bien descriptiva, es decir, no dice sobre la naturaleza del lenguaje.

Podemos elevarnos un poco sobre el esquema comunicativo y reparar en tres funciones generales o dimensiones fundamentales del lenguaje: la *cognitiva* —el lenguaje sirve para conocer—, la *comunicativa* —el lenguaje sirve para comunicarnos— y la *categorizadora* —el lenguaje permite ver y sentir de determinado modo, habilitando y deshabilitando “realidades”—. La función *cognitiva* es la más evidente: describir un estado de cosas (sería la referencial de Jakobson). La *comunicativa*, es la que nos permite no tanto describir el mundo como ponernos de acuerdo con los demás, entendernos acerca de lo que hay en el mundo y como eso es valorado por unos y otros. La función *categorizadora*, es la constituidora o abridora del mundo acerca del que se puede hablar. Esta última función no ha sido bien comprendida hasta Heidegger, aunque ya estaba presente en pensadores como Nietzsche (cf. Nietzsche, 1990).

Desde la función categorizadora del lenguaje o constituidora del mundo mencionada, Gadamer dijo que “el ser que puede ser conocido es lenguaje” (Gadamer, 1999, p. 567). Ya su maestro Heidegger había dicho: “el lenguaje es la casa del ser. En su morada habita el hombre” (Heidegger, 2006, p. 11). Ya hemos comentado que este habitar del hombre en el lenguaje tiene como consecuencia que el mundo no puede ser pensado como una cosa “frente al hombre”, sino como un habitar que no tiene interior o exterior.

En este sentido categorizador Wittgenstein sentenció: “los límites de mi mundo significan los límites de mi lenguaje” (Wittgenstein, 2009, p. 105 —*Tractatus Lógico-Philosophicus*—), Grondin (2004) lo dice: “los límites del lenguaje son entonces los límites también de nuestra comprensión” (p. 87).

38. Cf. Magnasco, 2024, Capítulo 1: *La metáfora: actriz principal del conocimiento*, Subtítulo: *La metáfora como invitación a la transformación*.

En la metáfora crece el ser

Hay una lingüisticidad del *ser* y también una temporalidad y una historicidad del ser que es la de los intérpretes: interpretamos desde un fluir, desde una ubicación, desde un proceso que se inscribe en una tradición y se proyecta a un futuro. Desde nuestra investigación (Magnasco, 2019) entendimos la categorización como una metaforización que genera nuevo léxico y sentido en base a una síntesis desde lo conocido que produce una fundación de sentido.

En esta andadura en espiral volvemos a retomar lo dicho por Gadamer: en la poesía “crece el ser” (Vilar, 1996, p. 4) porque allí la palabra “dice más” que en cualquier otro caso:

¿Qué significa el surgir de la palabra en la poesía? Igual que los colores salen a la luz en la obra pictórica, igual que la piedra es sustentadora en la obra arquitectónica, así es en la obra poética la palabra más diciente que en cualquier otro caso. Esta es la tesis. (Gadamer, 1971, p. 16)

Nosotros decimos en otras palabras que metaforizar hace “retroceder el caos” y en consecuencia hace “crecer el ser”. Este “decir más” de la palabra metafórica o poética es una creación más que un descubrimiento como hemos referido (cf. *supra*: *Apostilla 5: la verdad tiene que ver con una fusión artística* y *Apostilla 6: las innovaciones semánticas son también ontológicas*).

Los textos científicos buscan ajustar el lenguaje (produciendo uno técnico) para quitarle la posible ambigüedad, ya vimos que esto si bien es muy útil, es una fantasía (cf. *supra*: *¿La metáfora es un defecto del lenguaje?* en Capítulo 1). Pero leer “textos técnicos” como simplemente “reconocer un mensaje fijo y objetivo” es un caso excepcional de lectura (como cuando leemos fórmulas matemáticas encadenadas). Leer un texto es re-escribirlo en el interior, rehacerlo como texto y así de algún modo modificarlo o “traducirlo” (fenómeno de

“intertextualidad”³⁹). El autor del texto creó una intriga o trama que unió creativamente elementos heteróclitos, debido a los elementos presentes en nuestra cantera de analogías, es posible para nosotros reconstruir la trama y experimentar ese escrito como *un* texto: “A partir de este carácter inteligible de la intriga podemos decir que la competencia para seguir la historia constituye una forma muy elaborada de comprensión” (Ricoeur, 2006, p. 18). Es decir, la lectura habitualmente es una interpretación con matices que dependen no sólo del texto, por ello Gadamer (1984) entiende la lectura como una especie de “representación ante un escenario interior”, lo cual expresa en metáfora su teoría de la lectura.

Conocimiento como creación y no como implante

Esta postura de Gadamer se opone a la idea de un conocer o interpretar mediante una representación del tipo impresión sello-cera (metáfora de la conciencia rescatada por Ortega y Gasset, 1985 [1925]). Esto conecta con la idea de Eliseo Verón que refiriéndose a las operaciones semióticas del conocimiento que terminan en el significado (cf. Bitonte, 2002) prefiere hablar de “espacio mental” y no de “representación mental”. Esta idea del “espacio mental” como metáfora del conocimiento conecta con el “escenario interior” de Gadamer. Según Verón en la “representación” la dimensión semántica apunta al iconismo, mientras que el “espacio mental” alude a los peculiares reagrupamientos de materia semiótica que se condicen con su postura de un conocimiento como producto (creativo) y no como un “implante”.⁴⁰

39. Cf. Magnasco, 2024, Capítulo 1: *La metáfora: actriz principal del conocimiento*, Subtítulo: *Fusión metafórica como intertextualidad*.

40. En su argumentación está buscando una respuesta a la cuestión del sentido, a la cuestión semántica y en este punto tiene contactos con la postura del conocimiento encarnado de Harry Collins. Para Verón esos “reagrupamientos de materiales semióticos” que dan origen al sentido en el “espacio mental” tienen

Para Gadamer desde su metáfora del “escenario interior” —que no podemos dejar de vincular a los marcos metafóricos de Lakoff (2004)— la lectura habitual encuentra su paradigma en la lectura de la literatura y su modelo ejemplar en la lectura de la poesía. En *Leer es como traducir* dijo Gadamer:

Mi tesis es que la interpretación está esencial e inseparablemente unida al texto poético⁴¹ precisamente porque el texto poético nunca puede ser agotado transformándolo en conceptos. Nadie puede leer una poesía sin que en su comprensión penetre siempre algo más, y esto implica interpretar. Leer es interpretar, y la interpretación no es otra cosa que la ejecución articulada de la lectura (Gadamer, 1989)

Tomamos —de lo dicho— que la interpretación está unida al fenómeno de la metáfora que consiste en “fusión” entre el intérprete y lo interpretado, esta interpretación al tener su modelo en el texto poético, resulta inagotable, pero en su génesis es experimentada como una verdad como fundamento (fundación de sentido).

§. *Apostilla 8: “la influencia perniciosa de la matemática en ciencia”*

Nos referimos aquí a la sensación de verosimilitud o de verdad que en algunos espíritus produce un buen revestimiento matemático de lo que sea...

cuatro fuentes teóricas: la teoría de los mundos posibles de Nelson Goodman, el constructivismo de Jerome Bruner, la idea de conocimiento encarnado de Harry Collins y la teoría semiótica de Peirce.

41. Aquí hay relación con las metáforas que surgen en el contexto de descubrimiento para cubrir un vacío hermenéutico y que de algún modo hacen “retroceder el caos” y producen génesis de Objeto (crece el ser —cf. Vilar, 1996, p. 4— o retrocede la confusión) y génesis de Sujeto (podemos verlo desde la *mimesis III* de P. Ricœur: la reconfiguración del ser del que comprende).

En su artículo: “*The Pernicious Influence of Mathematics on Science*”, Jack Schwartz advierte sobre lo pernicioso de lanzarse a matematizar todo lo que *se pone a tiro*. Lo dice porque la “matematización” es un proceso muchas veces automatizado o al menos parcialmente “ciego”, como hecho por una máquina que en el fondo no discierne: “[...] la matemática se presta para vestir, tanto a las genialidades científicas como al absurdo, con el mismo impresionante uniforme hecho de fórmulas y teoremas. Desafortunadamente, un disparate en uniforme es mucho más persuasivo que un disparate desnudo” (Schwartz, 2006, p. 233, traducción propia: H.M.).

No todo es matematizable, o al menos, hay que advertir sobre la feroz simplificación en la que muchas veces se incurre (aunque se trate de una matemática muy sofisticada):

Las matemáticas sólo pueden abordar con éxito las situaciones más simples, más precisamente, una situación compleja en la medida en que una rara buena fortuna hace que esta situación compleja dependa de unos pocos factores simples dominantes. Más allá del camino ya recorrido, las matemáticas pierden su orientación en una jungla de funciones especiales sin nombre y particularidades combinatorias impenetrables (Schwartz, 2006, p. 233) (traducción y subrayado propios: H.M.)

XI. APOSTILLA SOBRE LA LÓGICA “ILÓGICA” QUE USAMOS

Veremos en lo que sigue —inmediata y mediatamente— que nosotros empleamos tanto al conocer, como al reconocer, o al descubrir, o al desentrañar, o al “inteligibilizar” hechos intrigantes, una lógica “mayor” que no se condice con la lógica “menor”.

Es desde esta distinción de dos tipos de lógica, que nos atrevemos a calificar a la lógica “mayor” como “ilógica” desde la perspectiva de la lógica “menor”...

§. *Apostilla 9: conocer es una operación “ilógica” de la imaginación*

Metaforizar es conocer y es crear una metáfora viva. ¿Quién crea esa metáfora? La imaginación. Justamente P. Ricœur define la imaginación como la capacidad de ver semejanzas entre cosas que inicialmente no la tenían por estar lógicamente alejadas (como lo están la electricidad y el agua en la metáfora de Maxwell). Así, la metáfora viva es un movimiento atrevido de la imaginación, que consiste en ver similitud entre cosas heteróclitas que no la tenían: la similitud creada “consiste pues en un cambio de distancia en el espacio lógico. No es otra cosa que este surgimiento de un nuevo parentesco genérico entre ideas heterogéneas” (Ricœur, 2006, p. 24).

Es decir, dos cosas separadas por la lógica, de pronto comienzan a verse emparentadas, empieza a haber una “visión de dos en uno” (Magnasco, 2019) que produce fecundidad cognoscitiva. La lógica se rompe pues se produce una inclusión de esquemas, figuras o imágenes provenientes de un ámbito ajeno en la situación que se pretende esclarecer, produciéndose el efecto metafórico de visión de dos cosas distintas en una sola, lo cual viola el principio de tercero excluido o de *tercio excluso*, que podríamos parafrasear como: una cosa no puede ser esa cosa y otra distinta al mismo tiempo.

Conocer se suele decir que es obra de la inteligencia, más bien parece ser obra de la imaginación.

Lógico vs. razonable o lógica menor vs. lógica mayor

Metaforizar es apartarse de la lógica adscripta a una verdad dura o matemática para acceder a una lógica humana adscripta a la verdad que tiene que ver con la vida y los intereses humanos. Aquí estamos haciendo una distinción interesante, no nos importa tanto que las cosas sean “totalmente lógicas” sino que sean “razonables”, y en esto de ser razonables entra en el ruedo la metáfora y sus oportunos traslados.

Con esta lógica “razonable”, nos referimos a las “lógicas constructivas” del sujeto, que funcionan como “caminos al conocimiento”... Estas lógicas no tienen nada que ver con la Lógica en tanto ciencia. Recordemos lo señalado por Samaja: hay dos grandes formas de entender la lógica, una como estudio de las reglas de inferencia (o lógica menor) y la otra como estudio del proceso de desarrollo del conocimiento (o lógica mayor) (cf. Samaja, 2004, p. 190-191).

La razón en la que entra la metáfora para construir “razonabilidad” y que es distinta de la “lógica robótica” es caracterizada por Jaime Nubiola desde los estudios sobre los *Collected Papers* de Charles Sanders Peirce: “Frente a la razón de la modernidad, la razonabilidad peirceana apunta a un ser humano capaz de introducir nueva inteligibilidad en el universo, de dar sentido y de hacer razonable su propia vida y lo que le rodea” (Nubiola, 2009, p. 113). Desde el comienzo de nuestro recorrido hemos adherido al concepto de metáfora de Lakoff & Johnson como experimentar una cosa en función de otra, destacando que en ese “experimentar” tomaba cuerpo el sentido, la significatividad para el hombre que hace la experiencia de aquello que lo rodea. Así el significado gracias a la operación metafórica empieza a

tener que ver con “lo que la gente encuentra ‘significativo’ en su vida” (Lakoff & Johnson, 2007, p. 33).

Este movimiento de la metáfora transforma el mundo al crear lo que no existía transformando también nuestra propia vida.⁴² Seguiremos tratando la lógica de la metáfora en el Capítulo 13 (*La lógica de la ciencia es la de la metáfora o “silogismo de la hierba”: una teoría matemático-relacional de formación de conceptos*).

42. Cf. Magnasco, 2024, Capítulo 1: *La metáfora: actriz principal del conocimiento*, subtítulo: *La metáfora como invitación a la transformación*.

Capítulo 3

METÁFORAS GALILEANAS Y BACONIANAS: EL UNIVERSO ES UN LIBRO ESCRITO EN LENGUA MATEMÁTICA AL QUE HAY QUE LEER COMO LA ABEJA.CRÍTICA DESDE UN MODELO METAFÓRICO DE LECTURA DE LA EMPIRIA

La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que tenemos abierto ante los ojos (me refiero al Universo), pero no se puede comprender si antes no se aprende la lengua y a conocer los caracteres en que está escrito. Está escrito en lengua matemática y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es imposible entender humanamente una sola palabra. Sin este lenguaje, vagamos vanamente en un oscuro laberinto

Galileo Galilei, "Il Saggiatore"

XII. ¿EL UNIVERSO ESTÁ ESCRITO EN LENGUA MATEMÁTICA?

Como adelantamos (cf. *supra*: *¿La metáfora es un defecto del lenguaje?* en el Capítulo 1) parece haber una “resistencia” de lo real a dejarse describir o “embretar” en un lenguaje lógico-matemático. Tal resistencia se manifiesta en el paso obligado por la metáfora: no hay caracteres matemáticos en la primera “lectura” al menos (cf. *supra*: Esquema N° 6 en el Capítulo 1). Esto es: el intento de describir o manejar matemáticamente al mundo debe dar un inicial “rodeo” por la metáfora —o rodeo “artístico” (cf. Klimovsky, 1999, p. 79)—, lo cual es un tránsito por un ámbito¹ que suele ponerse aparte de “lo propiamente científico” por su sesgo subjetivo o “ilógico” (cf. Popper, 1962, p. 31).

Hemos visto en el Capítulo 1 las metáforas de Faraday y Maxwell que han permitido arribar al Electromagnetismo, una de las patas de la física clásica. En este Capítulo y en el siguiente veremos las metáforas que utiliza Isaac Newton (1643-1727) para acceder a la famosa Ley de la Gravitación Universal y los supuestos que la sostienen (los principios del movimiento) y que constituyen en su conjunto a la Mecánica, la otra pata que sostiene a la física clásica. Como enlace entre las metáforas de Newton en Mecánica y las de Faraday y Maxwell en Electromagnetismo, consideraremos las metáforas asociadas a la Ley de Coulomb para la Electrostática.

1. Llamado —como dijimos— “contexto de descubrimiento”, en él aparecen “locas ideas” que se ponen aparte del llamado “contexto de justificación”. Esta división y exclusión del contexto de descubrimiento como propiamente científico, se da al eliminar la lógica abductiva en la que interviene medularmente la metáfora. Esto sucede al sujetarse artificialmente a un supuesto “punto de contacto fijo” con la empiria y al mero método inductivo (que esconde el paso metafórico por el singular, que es un “universal concreto”, es decir algo individual en el que anida una esencia universal, ver Magnasco, 2024, Capítulo 2: *La metáfora escondida en la lógica* y ver *supra*: *¿Observación directa sin metáforas?* en Capítulo 1).

En breve (cf. *infra*: Capítulo 4) indagaremos empíricamente el proceso seguido por Newton con el fin de expresar matemáticamente el movimiento de los cuerpos celestes a través de la formulación de la “Ley de Gravitación Universal”. Esta fue inspirada por una comparación metafórica (de Christiaan Huygens, 1629-1695) y constituye —como lo anunciamos— una de las bases de la mecánica clásica.

Adelantando la luz de tal indagación y simplificando podríamos decir que el lenguaje que habla la naturaleza no parece ser lógico matemático,² y que los lenguajes de la metáfora o imaginativo y el matemático están distanciados como lo están —para las posturas que lo califican de ilógico o subjetivo— el “contexto de descubrimiento” del “contexto de validación” (cf. *supra*: ¿Irracionalidad de las hipótesis? en el Capítulo 1).

En el epígrafe de este Capítulo citamos la gran metáfora de la modernidad (Galilei, 1864 [1623], p. 60, traducción propia: H. M.), podríamos parafrasearla como: la naturaleza es un libro escrito en lengua matemática, la ciencia ya está escrita en ese libro y sin ese lenguaje no lograremos descifrarla o leerla.³ Como hemos sugerido en los ejemplos vistos sobre las metáforas de Faraday y Maxwell (y seguiremos viendo) el científico no “lee” en lengua matemática, tampoco interroga matemáticamente desde el primer momento (en el “contexto de descubrimiento”), sino que inicialmente su intuición es más bien imaginativa, metafórica o artística⁴... luego, en un segundo momento, formaliza, reviste de matemática (en el contexto de justificación).

La resistencia de la realidad a dejarse leer y describir en caracteres matemáticos, entonces, se manifiesta en este tránsito por

2. Como afirmó Galileo Galilei en su obra *Il Saggiatore* de 1623 (cf. Galilei, 1864 [1623], p. 60)

3. Más adelante (cf. *infra*: Capítulo 11) veremos los procesos metafóricos que llevan a esta gran metáfora de Galileo Galilei.

4. Como reconoce Klimovsky (1999) pero desde una postura negativa sobre la existencia de alguna razonabilidad o lógica en el proceso artístico.

este interfaz obligado de tinte ilógico⁵ o subjetivo que es calificado de “no científico” —por no hacer pie vía lógica standard (la “lógica menor” de Samaja, 2004, p. 190-191, cf. *supra*: *¿Irracionalidad de las hipótesis?* en el Capítulo 1) en la objetividad de los mismos fenómenos o base empírica indubitable— y en el que opera la metáfora, explícitamente o desde un lenguaje vulgar (cf. Lakoff & Johnson, 2007) o poco tecnificado. El motivo último por el que el contexto de descubrimiento no es tenido en cuenta como científico es que la metáfora no es considerada —desde el *positivismo lógico*— con algún valor cognoscitivo. Comenta al respecto Gómez Ferri:

De entre el conjunto de disciplinas dedicadas al estudio de la ciencia, la filosofía de la ciencia es la que, en principio, podría haberse ocupado de la cuestión de la metáfora. Sin embargo, el hecho de que dicha disciplina se constituyera como área de conocimiento al amparo de los puntos de vista del *positivismo lógico* coartó tal posibilidad. Para los positivistas lógicos, el lenguaje de la ciencia era un lenguaje totalmente riguroso, literal y no ambiguo; un lenguaje ideal en el que se daba una estricta correlación entre significado y experiencia (Gómez Ferri, 1997, p. 58)

La estricta correlación entre significado y experiencia, no es otra cosa que una supuesta coincidencia entre *nombre* y realidad *nombrada*, es la teoría pictórica de Wittgenstein (2009) sobre el lenguaje, es la materialización de un lenguaje ajustado a la realidad, que la “pinta” *tal cual ella es*. Este proceso de lectura es la expresión de una observación depurada y un concomitante lenguaje técnico que logra un supuesto “punto de contacto fijo con la empiria”. Claramente aquí no entra la metáfora. Continúa diciendo Gómez Ferri sobre

5. “Ilógico” según la lógica standard positivista, pero muy razonable humanamente hablando (cf. Nubiola, 2009).

este criterio empirista del significado (cf. *supra* punto ¿Observación directa sin metáforas? en Capítulo 1):

Este criterio —base del análisis de la investigación sobre el significado de las proposiciones o enunciados científicos— llevó a pensar que las metáforas carecían totalmente de significación empírica. Para los positivistas lógicos y sus seguidores, aquéllas no tenían ninguna función cognitiva; no decían nada del mundo; eran, sencillamente, un subproducto de la naturaleza emotiva del ser humano. Los aspectos cognitivos eran separados de los aspectos emotivos del lenguaje, y la metáfora quedaba exclusivamente relegada a este segundo ámbito. Podía tener una función estética o retórica, pero nunca cognitiva. (Gómez Ferri, 1997, p. 58-59)

Veremos los ejemplos pertinentes indagando en el *proceso* real seguido por los científicos, los cuales indican que la metáfora es parte esencial de este proceso aunque luego se la niegue, esconda u olvide. Por ejemplo respecto de la metáfora que opera en electrodinámica (que es el interpretar el fenómeno de conducción eléctrica como una *corriente* líquida encauzada por un tubo —cf. *supra*: La analogía fruto del traslado —metaféro— del esquema— en Capítulo 1), Oliveras dice: “[...] aclara Max Black [filósofo y matemático] que la importancia de pensar en *corrientes* eléctricas no es sólo que podamos imaginarlas sino que así conocemos mejor sus propiedades” (Oliveras, 2007, p. 186), esto es, hay un poder cognoscitivo que se traduce en una construcción o extensión del conocimiento. En sintonía con la postura de M. Black, la filósofa de la ciencia Mary Hesse se declara a favor de una teoría que considera a las analogías en ciencia (resultado de un traslado metafórico previo) no como ayudas iniciales a descartar lo antes posible, sino como el núcleo de la teoría que la seguirá haciendo fecunda. Dice Hesse:

las analogías no son “ayudas” para el establecimiento de teorías; ellas son parte totalmente esencial de las teorías, sin las cuales las teorías carecerían completamente de valor y no serían dignas de tal nombre. Se ha sugerido a menudo que la analogía conduce a la formulación de la teoría, pero después que la teoría ha sido formulada, la analogía ha cumplido su propósito y puede ser removida u olvidada. Tal sugerencia es completamente falsa y peligrosamente desorientadora (M. Hesse citada por Blank, 2001, p. 256)

Hesse pone el acento en la analogía empleada por el científico, mostraremos que este basarse la ciencia en analogías reconduce a metáforas previas de las cuales tales analogías son resultado.

Estamos tan acostumbrados a transitar por este “escollo inicial” constituido por esos hechos “desafiantes” —en tanto que parecen no encajar con modelos matemáticos previos— con su cuota de misterio y no directamente matematizable que no reparamos en su sentido profundo. En otras palabras esta resistencia al embrete matemático manifestada en la operatoria real científica indica que no hay un acople “pictórico”⁶ o isomórfico entre el lenguaje lógico-matemático y lo empírico, por lo que por más que se lo encubra, o niegue, se termina “arriesgando” con el “salto” de la hipótesis o conjetura para luego matematizarla e ir a consultar por su validez a la empiria.

Este “salto” nos lleva “más allá de la información dada a los sentidos” (expresión de Bruner [2004], vista en *supra*: *La cantera económica de esquemas* en el Capítulo 1) en cuanto que al darlo estamos aplicando —seamos conscientes o no— un esquema inteligibilizador que proviene de otro lado. Debemos aclarar que la palabra hipótesis asociada a este salto no debe inclinarnos a pensar únicamente en el método “hipotético deductivo” sino que en los métodos inductivos también aparece una hipótesis “encubierta”:

6. Cf. la postura de Wittgenstein (2009) sobre la teoría pictórica del lenguaje.

la que supone *a priori* que en cada particular anida una esencia universal (es clásico de los inductivismos negar o no considerar el paso por el singular que es un “universal concreto”, es decir algo individual en el que anida una esencia universal⁷). Si bien el positivismo dice no hacer hipótesis previas y manejarse sólo con la inducción, la misma:

[...] no puede hacer lo que pretende hacer [establecer una ley universal] si no se presupone que en cada individual se realiza una esencia universal [hipótesis encubierta], de tal manera que cada individuo es un espécimen (o muestra representativa) de una especie (o totalidad que posee una configuración) (Samaja, 2004, p. 99) (aclaración entre corchetes propia: H. M.)

Tal “salto” hipotético rompe el “encadenamiento lógico” que pretende hacer pie en el “punto fijo” o indubitable de la empiria. La pérdida de evidencia en tal salto pone en entredicho “lo verdadero” (lo “positivo”) tanto desde una postura lógico-positivista (método hipotético deductivo *modus ponens* y método inductivo del positivismo lógico) como desde el popperianismo (método hipotético deductivo *modus tollens* o método falsacionista).⁸

7. Para ampliar este tema, ver Magnasco, 2024, Capítulo 2: *La metáfora escondida en la lógica*.

8. Popper rechaza para la justificación de las hipótesis todo tipo de inducción verificacionista al modo que sostenía el empirismo lógico. Para él es el “falsacionismo” basado en el *modus tollens* de la deducción el camino para validar aquella hipótesis que resista todos los intentos honestos de refutación (“racionalismo crítico”). También rechaza del empirismo lógico la “observación directa indubitable”, ese punto “de contacto fijo” o *certeza* que tal postura establece con la base empírica, pues, para Popper dicha base la constituyen *enunciados básicos* potencialmente falsables que no son “observables directamente”. Sobre ellos existe un acuerdo que Popper justifica desde la teoría de la “verdad como correspondencia” de Tarski. La misma no es una postura sobre la verdad de tipo ontológico intramental como la aristotélico-tomista (conocer es captar la esencia), ni al modo

Desde el método hipotético-deductivo (*modus ponens* o *modus tollens*) “directamente” se parte de la hipótesis, esto es, el “lenguaje” con el que la ciencia arranca su “decir” tendiente a inteligir lo real ya es artístico (así lo señala Klimovsky [1999] al referirse al origen de los enunciados teóricos [p. 79], pero como lo advertimos, lo hace desde una postura que califica de irracional al arte).

Recordemos que este poder de la imaginación artística a veces inventa extravagantes metáforas que luego de ayudar a subir la cuesta abstracta hasta el conocimiento sabio (plasmado en modelos lógico-matemáticos) son desechadas en cuanto forman parte de un contexto considerado no científico. Hay una subida abstracta desde la metáfora al modelo (cf. como ejemplo en *supra* el Esquema N° 6 en el Capítulo 1) señalada por J. Bruner. Dice este autor respecto de los mundos creados por la ciencia:

de la teoría pictórica de Wittgenstein (a la que califica de “sorprendentemente ingenua”, Popper, 1991, p. 273) sino que camina por el lado de lo trivial y consensuado: la verdad de la frase “la nieve es blanca” es esa correspondencia del enunciado con el hecho de la *nieve blanca*, consensuado por los que tienen la experiencia empírica. Al no basar la verdad de un enunciado en ningún estado intramental, ni en ningún *isomorfismo*, sino en una correspondencia externa al sujeto, hay “verdad objetiva” del hecho confirmado por la experiencia (por lo menos —según sus seguidores— “en un contexto cultural determinado”, cf. Klimovsky, 1999, p. 33-34). Bajo la lógica del *modus tollens* algunas hipótesis son rápidamente refutadas, otras tienen éxito y son sometidas a pruebas más rigurosas que de ser sorteadas terminan en su corroboración, pero generalmente surgen nuevos problemas que la teoría no contempla y se requieren nuevas hipótesis, dándose un proceso hacia el *infinito*. Esto, comenta Popper (Popper, 1991, p. 265), se debe “a la *infinita* magnitud de nuestra ignorancia”, por lo que habla de un grado de aproximación a la verdad que llama “verosimilitud” de la teoría: “aun cuando demos una teoría por verdadera [...] sólo estaremos conjeturando” y resulta “imposible saber que *es verdadera*” (p. 276), “creo que simplemente no podemos prescindir de esta idea de una mejor o peor aproximación a la verdad” (p. 283-284). Pero esa aproximación es “verdadera y objetiva”, pues hay verdadera *correspondencia* con los hechos y nada que aporte el sujeto, “su epistemología es una epistemología sin sujeto” (Castorina & Palau, 1994, p. 17). Así la ciencia resulta una “teoría de la verdad objetiva” entendida como *verosimilitud* y “aislada” del sujeto.

La elaboración de mundos de este tipo de vez en cuando se basa también en extravagantes metáforas. La historia de la ciencia está llena de ellas. Son los soportes que nos ayudan a subir la montaña abstracta. Una vez que llegamos arriba, las arrojamós (incluso las escondemos) a favor de una teoría lógicamente coherente, formal, que (con suerte) pueda enunciarse en términos matemáticos o semi matemáticos [...] Las metáforas que contribuyeron a este logro por lo general son olvidadas o se las incorpora no como parte de la ciencia sino de la historia de la ciencia. (Bruner, 2004, p. 58)

Mostraremos que este basarse la ciencia en metáforas no es algo que se realiza “de vez en cuando” como dice Bruner sino mucho más frecuentemente (por no decir siempre).

§. *La ficción de los puntos de partida de la “lectura” sin metáforas*

La eliminación o el ocultamiento de la metáfora lleva al Positivismo lógico (como en general a los empirismos-inductivismos) a partir de una supuesta “base empírica indubitable” que le da un punto fijo y objetivo (de “lectura del libro” de la naturaleza) para empezar a operar con su método inductivo. El racionalismo cartesiano (que podríamos considerar como punto extremo de los distintos racionalismos-deductivismos) por su parte también cree en un punto de partida indubitable y fijo: son los “principios evidentes indubitables” (*cogito* cartesiano), a partir del cual aplica la deducción para ir obteniendo nuevos eslabones “claros y distintos”. Es decir, el racionalismo para su construcción formal debe aceptar una metafísica,⁹ un “cogito” (un sujeto pensante ingénito) equipado innatamente con principios universales (ideas innatas) que por un lado son la base de las ciencias

9. Recordar nuestro concepto inicial de “metafísica” en *supra*: *¿La edad madura del hombre?* del Capítulo 1.

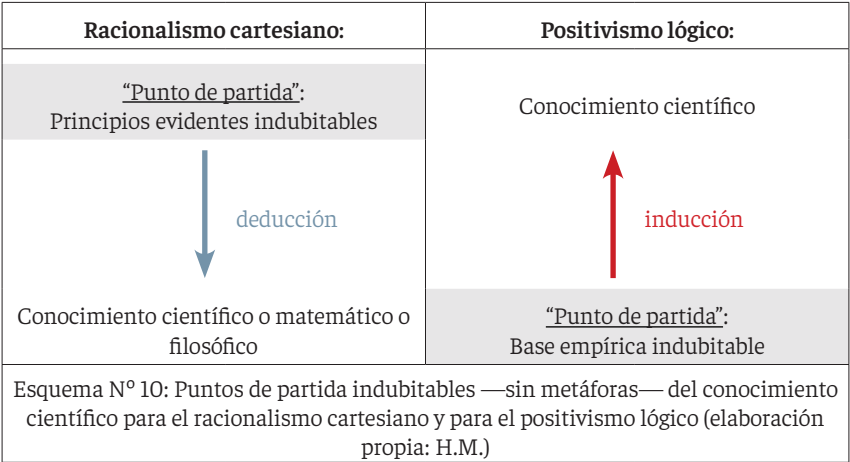
formales y por otro entran “misteriosamente” en sintonía con lo fáctico al producir cierta organización de lo empírico que parecería tener fundamento en lo empírico mismo. Algunos científicos toman la metáfora de Galileo que mencionamos como una verdad evidente, Max Planck por ejemplo, confiesa que decidió dedicarse a la ciencia:

[...] al comprender el hecho evidente de que las leyes del razonamiento humano coinciden con las leyes [...] del mundo que nos rodea y, en virtud de ello, que el razonamiento puro puede permitir al hombre formarse una imagen del mismo. En este sentido, es de fundamental importancia que el mundo exterior sea independiente del hombre, algo absoluto, y, para mí, la búsqueda de las leyes aplicables a este absoluto representa la más sublime de las tareas científicas (Planck, 1987, p. 43-44) (subrayado propio: H.M.)

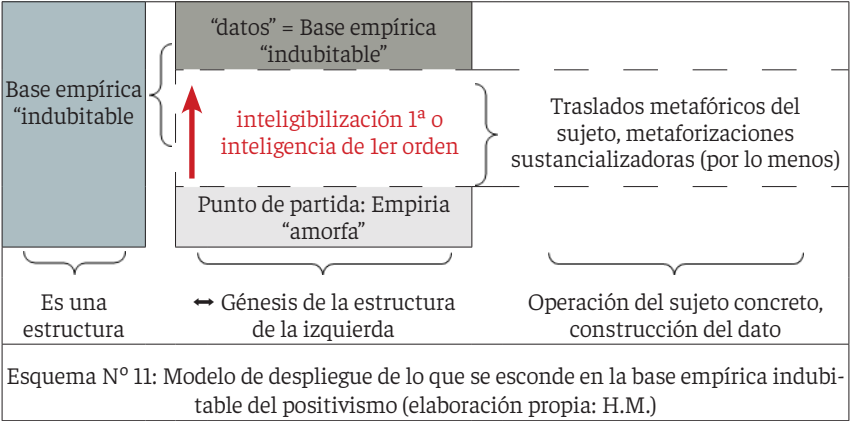
Notemos el supuesto metafísico de este genial científico. Quizás se deba a supuestos teológicos que nosotros compendiamos en la metáfora del artesano divino (cf. *infra*: Capítulo 11). En su famosa cátedra Religión y Ciencia Planck sentenció:

Tanto la religión como las ciencias naturales exigen la fe en Dios para sus actividades. Para la primera, Dios está al principio de todo pensamiento, y para la segunda, al final de todo el proceso de pensamiento. Para la religión, Dios representa la base; para la ciencia, la cumbre de cualquier razonamiento sobre la visión del mundo. (Planck, 1948, p. 178) (traducción propia: H.M.)

Si esquematizamos las dos posturas podemos advertir —comparando los esquemas— que lo que hace el positivismo es una inversión del racionalismo cartesiano, coincidiendo ambas en una eliminación del sujeto concreto y del llamado “contexto de descubrimiento”:



En los puntos de partida —señalados en el Esquema N° 10 con recuadros—, están “escondidos” tanto el sujeto (esto es: su lógica, su “cantera de analogías” —cf. Samaja, 2004, p. 138—, su *praxis*) como el “contexto de descubrimiento” (donde opera esa lógica y esquematismos que han tenido éxito en el ordenamiento de su vida y de sus actividades). Lo criticable de ambos esquemas es la suposición de que el punto de partida indubitable es una “estructura sin génesis” (el *cogito* cartesiano o los “datos” ingénitos). Tratemos de desplegar lo que se esconde en esta base empírica indubitable del positivismo:



Es decir, esa base empírica indubitable es una construcción; quien se acerca a la empiria no lo hace despojado de sus teorías y expectativas, podríamos decir que hay un nivel de empiria “amorfa” que es inteligibilizada en un “primer orden de inteligibilización”. Esto es posible porque el sujeto repara en aspectos salientes, es decir, enfoca *determinadas* “características” de las infinitas posibles en base a experiencias anteriores —Samaja describe este hecho como la “experiencia espontánea” del sujeto (Samaja, 2004, p. 159)—. Es necesario aclarar que esta condición de “amorfa” de la empiria no la identifica con una “nada” en la que el sujeto podría caprichosamente desde sus teorías ver “cualquier cosa”, de ser así estaríamos planteando un apriorismo. La empiria “amorfa” puede ser considerada —siguiendo a este autor— desde su “infinita complejidad”¹⁰ y lo que hemos señalado como un “primer orden de inteligibilización” —que el sujeto produce sobre lo amorfo— con lo que Samaja llama “experiencia espontánea” que ya mencionamos. En esta experiencia espontánea que da la sensación de ser un “contacto directo” con la empiria se esconde la actividad metafórica del sujeto como modelizamos en nuestro Esquema N° 11, esta actividad no se debe a un “descuido” metodológico o a una falta en un ajuste del lenguaje que por no ser preciso *metaforiza* sino que es inevitable. Samaja dice en este sentido:

La realidad (cualquier sector de la realidad) es siempre infinitamente compleja, y no se puede pasar directamente desde la percepción común y del comportamiento práctico espontáneo, a la descripción científica y a la “visión teórica”. (Samaja, 2004, p. 159) (subrayado propio: H.M.)

10. Samaja califica a la realidad como “realidad plena” o “densa”, significa que aún no disponemos de respuestas a cuestiones como: “¿de cuáles tipos de elementos está compuesto el objeto?”, o “¿qué relaciones guardan entre sí?”, etc. (cf. Samaja, 2004, p. 149).

En el necesario primer orden de inteligibilización mostrado en nuestro esquema está presente tanto el sujeto y *sus lógicas* como su operatoria en el “contexto de descubrimiento”. Nos referimos aquí a las “lógicas constructivas” del sujeto, que funcionan como “caminos al conocimiento”... Estas lógicas —que nosotros adscribimos al término “razonabilidad” (Nubiola, 2009)— no tienen nada que ver con la Lógica en tanto ciencia, recordemos la distinción de Samaja (2004, p. 190-191) entre “lógica menor” como reglas de inferencia y “lógica mayor” como camino hacia el conocimiento.

En estas lógicas del sujeto que llevan a hacer una “lectura” particular de la realidad —estructurando lo amorfo para que surja el “dato”— el lenguaje natural tiene una fuerte incidencia en este proceso,¹¹ como así también el contexto geográfico, histórico y cultural¹² y la *praxis* personal.

Así, en la “base empírica indubitable” se esconden traslados metafóricos e inferencias abductivas (cf. *infra*: *Construcción conjunta de sujeto y objeto*), resultando la presencia de la metáfora ontológica o sustancializadora por lo menos. Recordemos que según Lakoff & Jonhson (2007, p. 63ss y 98) las metáforas *ontologizadoras* o *sustancializadoras* son las que se basan en que nuestro cuerpo tiene un límite topográfico (“la piel”) que determina que lo que está “más allá” de ese límite sea algo distinto a lo que somos nosotros, otra sustancia, otra cosa. Así mediante este tipo de traslados metafóricos trazamos límites artificiales que nos son útiles: “la montaña”, “la esquina”, “el electrón”, “la onda”, etc. Hay que reparar —como ya advertimos (cf. *supra*: *Necesaria base somática del organismo conceptual* en el Capítulo 1)— en que “todo lo que hay” es más bien un

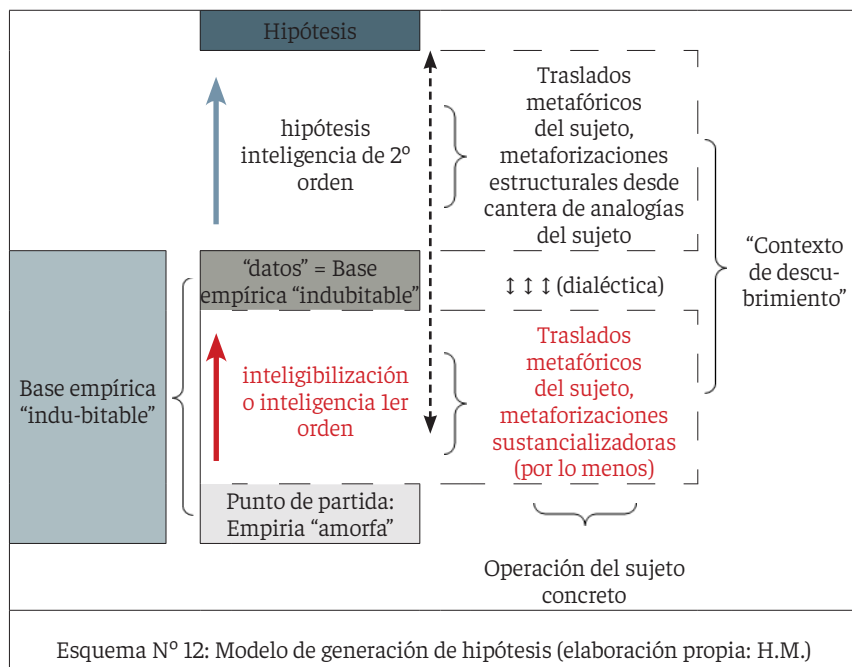
11. El lenguaje natural condiciona la forma de ver la realidad, es la función “categorizadora” del lenguaje, cf. Alonso Schökel, 1986, p. 151 y —el primer— Wittgenstein: “los límites de mi mundo significan [son] los límites de mi lenguaje”, (Wittgenstein, 2009, p. 105, en *Tractatus Lógico-Philosophicus*, aclaración entre corchetes propia: H.M.).

12. O historia externa, cf. Piaget & García, 1994, p. 233.

continuo en el que trazamos estas “geografías” útiles metafóricas (metáforas sustancializadoras).

Por todo esto es que cuestionamos lo “indubitable” del “punto de contacto fijo” con la empiria, ya que en realidad ella es una realidad amorfa que admitiría otras estructuraciones. En el esquema N° 6 hemos condensado este proceso metafórico en “traslados metafóricos del sujeto...” que estructuran e inteligibilizan a esa empiria amorfa.

En el caso del método “hipotético deductivo” también la base empírica (o los “datos”) es considerada indubitable y servirá para afirmar (*modus ponens*) o falsar (*modus tollens*) la hipótesis. Pero ocurre —además de este primer orden de inteligencia que genera los “datos” indubitables de la empiria— un segundo orden de inteligibilización que interactuando dialécticamente con el primero forma el “contexto de descubrimiento”, lo esquematizamos a continuación:



Las flechas simples del esquema indican el orden genético de la construcción (flechas roja y azul). Las flechas dobles indican la dialéctica que se monta sobre el orden anterior y condiciona la constitución de los datos. Este orden “recaído en la inmediatez” (tomado como algo dado sin génesis)¹³ no es tenido en cuenta y aparece “como lo primero”: la hipótesis. Es decir, la hipótesis no es una mera irracionalidad (como afirma Popper, 1962) sino que está sustentada por la lógica de una cantera de analogías, así, en la lectura de la base empírica que confirmará o no la hipótesis hay una inferencia del sujeto que construye los datos, estos no son “lo dado” sin más...

Respaldao lo mostrado en nuestro modelo presentado en el Esquema N° 12 dice Samaja:

Pero el trabajo científico comienza confrontando la experiencia espontánea con ciertas otras realidades, cuya relación de analogía [recordemos que la analogía es resultado de la operación metafórica] hace posible obtener una primera visualización de la estructura posible, la cual hubiera sido, de no mediar ese modelo, invisible. El proceso de descripción científica constituye, entonces, una primera elaboración de la experiencia espontánea, en la medida en que traduce sus hechos a “hechos” que se recortan a la luz de estos modelos.” (Samaja, 2004, p. 159-160) (aclaración entre corchetes y subrayado propios: H.M.)

Como hemos dicho, las metáforas espacializadoras (como “partículas de *alta* energía” o “mi ánimo está *arriba*”) y ontologizadoras (como “partícula” o “ánimo”) son fundamentales en la configuración de “la base empírica” pero semánticamente son limitadas o pobres, es decir, no permiten estructurar por sí mismas —dando

13. La *recaída en la inmediatez*, es una expresión de Hegel, significa tomar una estructura por dada e ingénita, cuando en realidad ha tenido una génesis.

sentido— a experiencias más complejas (cf. Lakoff & Jonhson, 2007, p. 101). Las metáforas estructurales son en este sentido, más ricas en consecuencias cognoscitivas y se basan en las anteriores (cf. *supra* Esquema N° 5 del Capítulo 1), son de tipo “gestálticas”, es decir, son la destilación de numerosas experiencias que como hemos dicho forman parte de esa “cantera de analogías” que nombra Samaja (cf. Samaja, 2004, p. 138).

Es importante para la justa comprensión del limitado Esquema N° 12 que las analogías fruto de traslados metafóricos funcionan *desde la empiria amorfa* pero distinguiendo dos niveles u órdenes (o mejor, dimensiones) entre los que se da un mutuo condicionamiento dialéctico que los hace “uno”. En un primer orden funcionan sobre todo las metaforizaciones ontologizadoras (trazado de *geografías* útiles) y en un segundo orden —que no puede separarse del anterior— las metaforizaciones estructurales (metáforas estructuradoras). Es decir, partimos siempre de la empiria “bruta”, pero distinguimos un orden de prefiguración más básico que —recaído en la inmediatez— está más cercano a nuestra idea de “dato” *ingénito* y que se enlaza —en su génesis escondida— con las metaforizaciones más básicas que hemos tratado (cf. *supra*: *Necesaria base somática del organismo conceptual* en el Capítulo 1). Pero estos dos órdenes se condicionan mutuamente ya que la hipótesis o “inteligencia de segundo orden” del esquema condiciona la relevancia del “dato” y este —a su vez— influye sobre la hipótesis.

§. *La ficción de la mera inducción*

Lo que venimos diciendo cuestiona la *mera* inducción que parte de la *mera* observación como camino hacia una hipótesis:

¿Cómo es posible crear o descubrir hipótesis verdaderas? La inferencia inductiva no puede ser el camino, y no puede serlo por dos razones; a. la razón más conocida, porque de premisas

particulares verdaderas sólo puedo inferir conclusiones problemáticas y no necesariamente verdaderas [es lo que se llama *contradicción interna de la ciencia*, cf. *supra*: *Apostilla 3: conocer es superar la contradicción interna de la ciencia* en Capítulo 2 e *infra*: *Construcción conjunta de sujeto y objeto*]; b. la segunda razón —mucho menos señalada— es que la observación de los hechos, admite un número infinito de recortes y de generalizaciones posibles; dicho de otra manera: la inducción no contiene en sí ningún principio que restrinja el área de generalizaciones que es posible obtener a partir de observar los “mismos hechos”. (Samaja, 2004, p. 84) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

En sintonía con nuestros esquemas N° 11 y N° 12, sin la praxis mediadora —en la que anidan analogías que han funcionado en la vida práctica y sobre las que se realizan los traslados metafóricos— la “visión” de los datos queda claramente comprometida en base a la razón “b” señalada en la cita anterior:

Recordemos que es un lugar común afirmar que la inferencia inductiva es el principal camino por el cual la razón humana puede aumentar el conocimiento. Lo que estamos viendo, entonces, nos pone frente a una limitación nada trivial. Más aún, podemos plantear, incluso, que es más grave que la señalada en primer lugar, porque estamos frente a la incapacidad para dirigir la búsqueda teórica. (Samaja, 2004, p. 85)

En toda inducción hay un esquema interpósito que dirige la búsqueda teórica, por ejemplo, si ensayamos un trozo de cobre para obtener sus *características*, sería de “locos” pensar que otro trozo de cobre tiene *características* diferentes. Reparemos que hablar de características supone que los elementos de cobre son análogos en ese conjunto “característico”.

Esto se debe a que estamos acostumbrados a trasladar un esquema universal entre elementos “iguales”. Este traslado es metafórico y culmina en la analogía: “todos los trozos de cobre son análogos en estas características” ¿hubo una mera inducción? Más bien hubo una abducción: suponemos como conveniente que todos los trozos de cobre cumplan con una REGLA fija y universal de características. Se ha trasladado (metaféro) este elenco de características a todos los trozos de cobre. En términos de la lógica clásica, la conclusión del razonamiento inductivo no se da por una lógica conjuntista (o en otras palabras por generalización) sino por la detección de un “parecido de familia” que responde a la lógica espécimen-especie que habilita obtener la REGLA. Se suele decir que los inductivistas no registran el paso por el “singular” que es un “universal concreto”, es decir algo individual en el que anida una esencia universal. El universal concreto coincide con el CASO de la REGLA.¹⁴

§. *Abducción de hipótesis y capacidad de acierto*

El proceso metafórico que haciendo pie en la cantera de analogías (que han funcionado, y constituyen el dominio fuente) establece un primer grado de inteligibilidad ante fenómenos nuevos o intriganes (pertenecientes al dominio meta), es parte nuclear del razonamiento abductivo o de generación de hipótesis (cf. *infra: Construcción conjunta de sujeto y objeto*). Este razonamiento abductivo, es un razonamiento, es decir, tiene su lógica que analizaremos en breve refiriéndonos a la metáfora de Faraday sobre las líneas de fuerza vistas como hilos elásticos. Este proceso que permite entender acota las infinitas posibilidades de interpretación de lo desconocido, evitando lo que señala Samaja en la cita inmediata anterior: el quedarnos sin elementos que orienten y conduzcan la

14. Cf. para más detalles Magnasco, 2024, Capítulo 2: *La metáfora escondida en la lógica*. Subtítulo: *La influencia de las metáforas sobre los razonamientos clásicos*.

búsqueda teórica. Ch. S. Peirce señaló este hecho de una manera hiperbólica pero no por ello desacertada:

Un físico en su laboratorio da con un fenómeno nuevo. ¿Cómo sabe que las conjunciones de los planetas no tienen nada que ver con ello, o que no es quizá porque la emperatriz viuda de China se le haya ocurrido por la misma época [...] pronunciar algunas palabras con poder místico, o porque se encuentra presente algún genio invisible? Pensemos en los *trillones de trillones de hipótesis* que pueden hacerse de las cuales sólo una es la verdadera; y con todo el físico, después de dos o tres conjeturas o, todo lo más, de una docena da muy cerca de la hipótesis correcta. Por azar no lo hubiera conseguido probablemente ni en todo el tiempo transcurrido desde que la tierra se solidificó [1988 (*El hombre, un signo*), pag. 137] (Peirce citado por Samaja, 2004, p. 85)

Si el ser humano no estuviese equipado con esta asombrosa capacidad “estadística” de acierto en temas que están más allá de la “lógica menor” (Lógica como estudio de las reglas de inferencia, cf. *supra*: *La ficción de los puntos de partida de la “lectura” sin metáforas*), haría mucho tiempo ya que se hubiese extinguido. Retomaremos esta cuestión en el Capítulo 10, allí hablaremos de una especie de “instinto de la abducción” o —como anunciamos— “de la adivinación”.

§. Construcción conjunta de sujeto y objeto

En los esquemas N° 8 y N° 9 hemos considerado la operatoria de un sujeto concreto, esto es, no estamos suponiendo un *cogito* cartesiano sin génesis o “sujeto lógico trascendental”, sino un sujeto que es una estructura con génesis.

¿Qué queremos señalar? Que ni el sujeto que se dispone a conocer, ni el objeto a ser conocido son dos entidades dadas de antemano

a la relación de conocimiento. Podemos decirlo de este modo: el conocimiento transforma al objeto conocido y al agente cognoscente. Ya John Dewey (1859-1952) bajo la influencia de Peirce, Darwin y Hegel formula la sentencia que expresa que el sujeto cognoscente *no existe* como entidad totalmente definida antes de una investigación, sino que se constituye *en ella y para ella*. Por eso en el ámbito del aprendizaje distingue entre *interacción*, que acontece entre entidades definidas y estables, y *transacción*, proceso constitutivo de los mismos términos interesados, en particular del “cognoscente” y de lo que es “conocido” (cf. Abbagnano & Visalberghi, 1992, p. 437-443).

Cuando Faraday conceptualizó el fenómeno observado en torno al imán como líneas “de fuerza” o *hilos elásticos*, configuró la realidad de modo imaginativo, uniendo dos ámbitos en una *visión de dos en uno*. Dejó algo *suyo* en el objeto a partir de su creativa metáfora. A su vez, la metáfora empleada no fue caprichosa, sino que el investigador enfocó características que en su cantera de analogías se correspondían con hilos elásticos. Claramente conoció desde lo conocido, relacionando dos ámbitos totalmente diversos.

Este tipo de razonamiento es abductivo, tal razonamiento es el que posee menos fortaleza lógica (comparado con la deducción y la inducción) pero el de mayor grado de fecundidad cognoscitiva.¹⁵ En este tipo de razonamiento el sujeto cognoscente arriesga una conjetura (de hecho Charles S. Peirce lo llama razonamiento de *generación de hipótesis*). Para ilustrar el funcionamiento de este tipo de razonamiento, podemos reconstruir hipotéticamente el pensamiento de Faraday. Este razonó diciendo: “este fenómeno sería comprensible si esas líneas fueran como líneas *de fuerza* o *hilos elásticos*”. En términos clásicos, ante ese RESULTADO que es

15. Sobre la influencia de la metáfora en los razonamientos clásicos (deducción, inducción, abducción), ver Magnasco, 2024, Capítulo 2: *La metáfora escondida en la lógica*.

el fenómeno,¹⁶ el investigador postula que es un CASO de tal REGLA: eso que está visualizando (RESULTADO) es semejante (operación metafórica¹⁷) a lo que sucede con los hilos elásticos (REGLA)¹⁸, por lo que postula: “eso que veo es un CASO de esta REGLA”¹⁹ (lo cual es una hipótesis).

En la conjetura, tal como la hemos descrito en su génesis, el sujeto ha dejado *algo de sí* en el objeto al que ha *configurado*, por otro lado el objeto ha dejado en el sujeto una transformación en su cantera de analogías y por la posesión de una nueva expansión en su horizonte conceptual.

Hemos optado —por lo tanto— en nuestra investigación por la génesis conjunta de sujeto y objeto que decanta en una *praxis* y que es la postura que permite fundamentar el éxito en la resolución de la llamada “contradicción interna de la ciencia” que comentamos (cf. *supra*: Apostilla 3: *conocer es superar la contradicción interna de la ciencia* en Capítulo 2). Tal contradicción interna consiste en que la ciencia aspira a lograr —y efectivamente lo hace— un conocimiento universal desde la andadura por lo particular.

Las dos posturas clásicas señaladas en *supra* Esquema N° 10, la del método inductivo y la del método deductivo —como hemos dicho— no pueden explicar cabalmente como se logra obtener tal conocimiento universal desde el trabajo con lo particular (es decir no pueden explicar epistemológicamente el éxito logrado): el inductivismo no puede justificar el salto a lo universal (que estaba puesto

16. Que está produciendo un “vacío hermenéutico” en tanto no se dispone aún de explicación.

17. La metáfora funciona en la entraña del razonamiento abductivo: provee la REGLA para que la abducción pueda funcionar.

18. Esta REGLA es obtenida desde la “cantera de analogías” del sujeto. Como hemos dicho, esta está integrada por esquemas (ni puramente teóricos, ni puramente empíricos) que se han ido decantando en la praxis del sujeto y que constituyen como órganos de asimilación (abductiva) de la realidad.

19. Las comillas no indican una cita literal, sino la conclusión de la reconstrucción hipotética del pensamiento de Faraday.

encubiertamente desde el principio de su indagación) y el deductivismo no puede justificar su punto de arranque (el porqué de *esa* hipótesis y no otra, cf. *infra*: *El instinto peirceano de adivinación* en el Capítulo 10). La problemática de este no poder justificar la obtención de conocimiento universal se origina en el supuesto “a priori” de un sujeto quasi-trascendental (una lógica) y de una realidad (un objeto) puestos de *antemano* antes de todo conocimiento, esto nos remite a repensar lo que entendemos por “verdad” (y también la verdad “científica”) y por lógica (cf. *supra*: Capítulo 2: *Apostillas sobre el modo humano de conocer, su lógica “ilógica” y lo experimentado como verdadero* e *infra*: Capítulo 13: *La lógica de la ciencia es la de la metáfora o “silogismo de la hierba”: una teoría matemático-relacional de formación de conceptos*).

XIII. METÁFORAS SOBRE “LA BUENA LECTURA” DE TAL LIBRO

§. *Metáfora de los ídolos del pensamiento*

Según el filósofo inglés Francis Bacon (1561-1626) es necesario un nuevo instrumento u *Organum* para acceder al real conocimiento de la naturaleza o —siguiendo la metáfora— realizar una “buena lectura” del libro de la naturaleza. Para ello es necesario eliminar los *ídolos* del pensamiento que son ideas erradas que se alejan de la verdad de las cosas. Esto sucede por costumbre, tradición, cerrazón, inercia, pereza o gustos personales, afectando la idea que los seres humanos se hacen de la naturaleza.

Bacon supone por motivos teológicos que las ideas del Creador han sido impresas en su obra (la creación²⁰), Galileo Galilei (1564-1642) y Newton (1643-1727) son de la misma idea (para ellos estas ideas son específicamente matemáticas, lo cual es un traslado metafórico desde el constructor de máquinas medieval-renacentista, cf. *infra*: *Metáfora del constructor de máquinas*):

No es poca la diferencia existente entre los ídolos de la mente humana y las ideas de la mente divina, es decir, entre algunas opiniones vacías y los verdaderos signos e improntas marcadas en las criaturas tal como se les puede descubrir. (Bacon, 2011 [1620], p. 63 - Libro I aforismo 23)

20. Aquí la *naturaleza* se toma como *creación*, el teólogo cristiano conocido como San Agustín entiende que las cosas provienen de la “encarnación” de los conceptos divinos; por provenir de la mente de Dios estos conceptos dejan en las cosas el misterio del Agente (cf. *infra*: capítulos 11 y 12).

Para Bacon estas opiniones vacías de los hombres tienen origen —en última instancia— en el pecado de Adán, con el cual se perdió el *saber* sobre la naturaleza y el *poder* sobre la misma,²¹ por eso trata de paliar la situación mediante la propuesta de un proyecto de investigación nuevo que concretiza en su obra la *Instauratio Magna* de 1620 (o *Novum Organum*).²² Bacon confiaba en que mediante esta restauración se pondría fin al extravío de los hombres que “habían sustituido las *ideas* de la mente divina impresas en las criaturas [...] por los *ídolos* vacíos de la mente humana, cambiando la lectura o *interpretación* legítima de la naturaleza por las múltiples *anticipaciones* fantásticas de la razón humana (Granada, en Bacon, 2011 [1620], Introducción p. [X]).²³ En sintonía con esta versión teológica aclara Bréhier que estos ídolos son “disposiciones viciosas del espíritu, como una especie de *pecado original* que nos hace ignorar la naturaleza” (Bréhier, 1988, p. 663, resaltado propio: H.M.).

Bacon *personifica* a los ídolos, ellos *ocupan* (o toman posesión de) la mente, *asedian*, *causan molestias* en la misma restauración de las ciencias, ellos son persistentes, si se los *expulsa* pueden volver (cf. Bacon, 2011 [1620], p. 68 - Libro I aforismo 38 y 39). Como se observa Bacon utiliza un lenguaje que recuerda la lucha tradicional contra los “demonios”, y sentencia que “el remedio adecuado para la

21. “El objetivo de Bacon no es, hablando con propiedad, el conocimiento [el saber], sino el dominio sobre la naturaleza [el poder], la ciencia operativa” (Bréhier, 1988, p. 663) (aclaraciones entre corchetes propia: H.M.).

22. “[...] hacia finales de 1620 se publicaba en Londres [...] la *Instauratio Magna*, obra en la que Bacon anunciaba, presentaba y convocaba a un proyecto de investigación en el campo de la filosofía natural que aspiraba a conseguir la ‘Restauración’ (*Instauratio*) del *saber* y consecuentemente del *poder* que sobre la naturaleza gozó Adán en el Paraíso y que la humanidad había perdido como consecuencia del Pecado original” (Granada, en Bacon, 2011 [1620], Introducción p. [IX-X]).

23. Bacon acota que los hombres “se habían olvidado además del verdadero fin de la ciencia [...]: dotar a la vida humana de nuevos descubrimientos y recursos” (*Novum Organum*, Libro I, aforismo 81) (citado por Granada, en Bacon, 2011 [1620], Introducción p. [X]).

expulsión y alejamiento de los ídolos es la obtención de nociones y axiomas por medio de la verdadera inducción (Bacon, 2011 [1620], p. 69 - Libro I aforismo 40, resaltado propio: H.M.).

Los ídolos que *asedian* las mentes humanas son de cuatro clases: *ídolos de la Tribu*, *ídolos de la Caverna*, *ídolos del Foro* e *ídolos del Teatro* (cf. Bacon, 2011 [1620], p. 69 - Libro I aforismo 39). Ellos tienen distintas procedencias que resumimos en el siguiente esquema:

Los ídolos de Francis Bacon	
Nombre de los ídolos	Procedencia
1) Ídolos de la Tribu	De la naturaleza humana
2) Ídolos de la Caverna	De la educación, hábitos de vida y temperamento
3) Ídolos del Foro	Del lenguaje natural
4) Ídolos del Teatro	De las filosofías en boga
Esquema N° 13: Los ídolos que entorpecen la actividad científica y su procedencia (elaboración propia: H.M.)	

Los *ídolos de la Tribu* están fundados en la misma naturaleza humana “en la misma tribu o raza humana” (Bacon, 2011 [1620], p. 69-70 - Libro I aforismo 41), es decir, la naturaleza humana misma se inclina hacia *ídolos* que se materializan en ideas que tienen origen no en las cosas y los hechos sino en la “pereza” y la “inercia” (cf. Bréhier, 1988, p. 662-663), en suponer sin cuidado relaciones y simetrías inexistentes y en adherir a tradiciones y gustos personales:²⁴

24. “El entendimiento humano, una vez satisfecho con una determinada concepción (ya sea por haberla recibido de la tradición y haberle dado crédito, ya sea porque resulta agradable), lleva todo lo demás a coincidir con ella y a apoyarla. Y aunque la fuerza y la cantidad de las instancias contrarias sea mayor, o no las toma en consideración o las menosprecia o las aparta y rechaza con distinciones, por el grave y pernicioso prejuicio de que permanezca intacta la autoridad de aquella primera concepción” (Bacon, 2011 [1620], p. 73 - Libro I aforismo 46).

El entendimiento humano, por su peculiar naturaleza, supone fácilmente un mayor orden e igualdad en las cosas del que realmente se encuentra y aunque en la naturaleza hay muchas cosas singulares y llenas de disparidad, se imagina a pesar de todo paralelismos, correspondencias y relaciones que no existen. De aquí surgen esas ficciones de que en los cielos todas las cosas se mueven en círculos perfectos,²⁵ rechazando completamente (salvo de nombre) las líneas espirales o sinuosas (Bacon, 2011 [1620], p. 72 - Libro I aforismo 45)

Si los de la Tribu son generales, los *ídolos de la Caverna* son particulares y aprisionan al espíritu “como en la caverna de Platón” (Bréhier, 1988, p. 663):

Los ídolos de la Caverna son los ídolos del hombre individual. En efecto, cada cual (además de las aberraciones de la naturaleza humana en general) tiene un espejo o caverna propia que rompe y corrompe la luz de la naturaleza, ya sea por la naturaleza propia y singular de cada uno o por la educación y trato con los demás o por la lectura de libros y la autoridad de aquellos que cada cual cultiva y admira, o bien por la diferencia de las impresiones, según ocurran en un ánimo ocupado de antemano y predispuesto o en un ánimo tranquilo y reposado (Bacon, 2011 [1620], p. 70 - Libro I aforismo 42)

También Bacon ve la necesidad de una depuración del lenguaje: los *ídolos del Foro* son las palabras vacías, sin cosa real asociada o bien palabras que designan cosas mal definidas y que por lo tanto deben ser desechadas (cf. Bacon, 2011 [1620],

25. “Para Bacon, pues, el axioma astronómico, común a geocentristas y heliocentristas (hasta la Astronomía nova de Kepler publicada 1609), del movimiento circular de los cuerpos celestes es un ídolo de la tribu” (Granada, en Bacon, 2011 [1620], p. 72, nota al aforismo XLV).

p. 83 - Libro I aforismo 60). Así, intenta desentrañar la verdadera realidad distinguiendo entre “las palabras y las cosas”. Denuncia en las palabras del vulgo la ausencia de la verdadera “marca” de las cosas por lo que afirma que los hombres se ven arrastrados a controversias vanas:

Hay también ídolos que surgen del acuerdo y de la asociación del género humano entre sí y a los cuales solemos llamar ídolos del Foro, a causa del comercio y consorcio entre los seres humanos; pues los hombres se asocian por medio de los discursos, pero los nombres se imponen a las cosas a partir de la comprensión del vulgo. Así, una mala e inadecuada imposición de nombres mantiene ocupado el entendimiento de una manera asombrosa [...] ya que las palabras ejercen una extraordinaria violencia sobre el entendimiento y perturban todo, llevando a los hombres a innumerables e inanes controversias y ficciones. (Bacon, 2011 [1620], p. 71 - Libro I aforismo 43)

Los *ídolos del Teatro* por su parte, “proceden del prestigio de las teorías filosóficas, de la de Aristóteles, ‘el peor de los sofistas’, de la de Platón, ‘bromista, poeta lleno de vanidad, teólogo entusiasta’” (Bréhier, 1988, p. 663).

La necesidad de un nuevo método para “exorcizar” los ídolos

Desde su propuesta metodológica, “la verdadera inducción” (cf. Bacon, 2011 [1620], p. 69 - Libro I aforismo 40), Bacon censuró a los toscos empiristas en tanto que amontonan hechos ciegamente y a los volátiles racionalistas que elucubran ideas al margen de toda experiencia (cf. *infra*: *Metáfora de las hormigas, las arañas y las abejas*). Así, contra el racionalismo y su metafísica Bacon defiende (paradójicamente por motivos metafísicos o teológicos, cf. Bacon, 2011 [1620], p. 63 - Libro I aforismo 23)

el método experimental de tipo positivista como medio purificador de las ideas que anidan en los hombres, como etapa necesaria que ha de liberarnos de “los ídolos” o prejuicios de la mente humana.

Según Bacon es necesario para poder encontrar las huellas del creador en su obra, expulsar y alejar los *ídolos* del pensamiento mediante la depuración del método: “El remedio adecuado para la expulsión y alejamiento de los ídolos es la obtención de nociones y axiomas por medio de la verdadera inducción” (Bacon, 2011 [1620], p. 69 - aforismo XL). Bacon establece 4 pasos críticos para acceder al conocimiento científico (cf. Bacon, 2011 [1620]):

1. ve la necesidad de hacer una crítica de los sentidos, estableciendo condiciones para que las impresiones sensoriales no sean erróneas o débiles en su agudeza;
2. propone atender críticamente a la actividad de extraer nociones de las impresiones, con lo cual busca purificar el lenguaje o exorcizar a los *ídolos del Foro*;
3. en cuanto a los datos y su tratamiento, deben ser suficientes en número para guiar al espíritu (contra el racionalismo que le hace decir a la empiria lo que ya tiene en mente) y;
4. propone una crítica de la inducción, para no elaborar leyes prematuramente sino con gradualidad y seguridad.

Newton resumirá las características propias de su método científico inductivo en las 4 “Reglas para filosofar” presentes en el comienzo del Libro III de *Principia* (cf. *infra*: *La economía de las cuatro “Reglas para filosofar” de Newton* en Capítulo 4).

§. Metáfora del constructor de máquinas

Esta es la versión moderna de la metáfora del artesano divino (ver *infra*: capítulos 11 y 12) que desde la *República* de Platón viene cautivando epistemológicamente a occidente. Así como el constructor ingeniero de máquinas medieval dejaba en su obra el ingenio de su

saber matemático, el dios matemático²⁶ de Galileo Galilei e Isaac Newton “constructor” —a semejanza de aquél— de la naturaleza, ha dejado también su huella en las leyes²⁷ matemáticas que es posible²⁸ encontrar en su obra (cf. Newton, 1982, p.617ss; cf. Galilei, 1864 [1623]). Galileo y Newton adhieren a su modo al espíritu positivo naciente que resume pioneramente Bacon en su *Novum Organum*.

Señala Heisenberg que la Naturaleza en los albores de la modernidad era todavía, en primer lugar, algo creado por Dios: “Como obra de Dios se la concebía, y a las gentes de la época les hubiera parecido una insensatez querer ahondar en el mundo material prescindiendo de Dios” (Heisenberg, 1985, p. 10).

§. Metáfora de las hormigas, las arañas y las abejas

Francis Bacon usa una metáfora para establecer su posición cuando recomienda no ser como los empíricos que semejantes a hormigas *solo saben recoger* (como si el conocimiento surgiera del sólo recoger datos y como si los datos se recogieran *como manzanas de un árbol*), ni como los racionalistas que semejantes a arañas sólo *fabrican telas que sacan de sí mismos*, él propone ser como la abeja que recoge materiales de las flores pero para transformarlos *por una virtud que le es propia* (la abeja representa al que deja guiar su espíritu por la empiria —punto 3º de sus pasos críticos— produciendo la transformación de la misma en conocimiento científico):

26. Sobre la génesis de esta idea del dios matemático ver *infra*: Capítulo 12: *Las metáforas del dios constructor de máquinas y de la emanación: dos matemáticas y la revisión de la relación materia-espacio-tiempo*.

27. Para una síntesis de las posturas sobre la génesis del concepto de Ley Científica ver Vexler Talledo (1998).

28. El mismo Dios que crea la naturaleza, crea al hombre a su imagen y semejanza, es decir, como un pequeño dios que es capaz de reconocer la entraña matemática de la obra producida. Así lo entiende Galileo Galilei (cf. Galilei, 1864 [1623]).

Trataron las ciencias los empíricos y los dogmáticos. Los empíricos, a la manera de hormigas, se limitan a acumular y a consumir. Los racionalistas, como las arañas, sacan de sí mismos la tela. La vía intermedia, sin embargo, es la de la abeja, que obtiene la materia de las flores del jardín y del campo, pero que la transforma y elabora con su propia capacidad. La manera de proceder de la verdadera filosofía es similar, pues no se apoya únicamente o fundamentalmente en las fuerzas de la mente y no se limita a conservar intacta en la memoria la materia procedente de la historia natural y de los experimentos mecánicos, sino que la transforma y elabora en el entendimiento. Por tanto, hay motivos para albergar esperanzas a partir de una unión más estrecha y más correcta de estas dos facultades (la experimental y la racional) de lo que hasta el presente ha ocurrido. (Bacon, 2011 [1620], p. 138 - Libro I aforismo 95)

Galileo Galilei entiende que la experiencia empírica no se reduce a sólo recoger datos como las hormigas de Bacon: “[...] la experiencia [...] será como nula, si no se sabe superar el dato sensible y ordenarlo dentro de los cauces que marca la razón” (J. M. Revuelta, Prólogo a Galilei, 1975, p. 14). Estos cauces que marca la razón ubican a Galileo en la metáfora de la abeja de Bacon, y esa *abeja* introduce en lo que recoge cierta virtud propia de tipo metafísico que se sintetiza en una razón ordenadora:

Todo sistema basado en la experiencia tiene sus momentos metafísicos, al tener que referir siempre esos datos obtenidos por la experiencia, y que se presentan bajo una forma caótica y desordenada, a una razón ordenadora, en cierta manera gratuita y que evidentemente no es uno más de los datos sensibles. (J. M. Revuelta, Prólogo a Galilei, 1975, p. 15)

Isaac Newton también cohesiona —como la abeja de Bacon— la observación experimental y la elaboración teórica: se cuenta que desde la ley de Galileo sobre la caída libre, las leyes de Kepler sobre el movimiento planetario y los movimientos de las mareas induce la ley de gravitación universal (esta “inducción” es vía una metáfora —una hipótesis— que trataremos en breve): toda la actividad experimental queda orientada a la comprobación de la teoría “inducida” (que más bien es *abducida*, cf. *supra*: Capítulo 2: *Apostillas sobre el modo humano de conocer, su lógica “ilógica” y lo experimentado como verdadero*).

Desde nuestra investigación la labor de *abeja* de Newton, se da desde el momento que enfoca y organiza datos empíricos, terrestres (sobre la fuerza centrípeta, por ejemplo) y celestes (las observaciones de los astrónomos) desde la *virtud* propia de las imágenes metafóricas que su creatividad ha generado. Así hay cuestiones provenientes de la empiria (*de las flores*) y cuestiones provenientes de la inventiva del investigador (*la virtud propia de la abeja*).

Capítulo 4

LA LEY DE ATRACCIÓN UNIVERSAL Y SU BASE EN EL SISTEMA DE METÁFORAS DE NEWTON CENTRADO EN LAS DE “LA BOLEADORA” Y “LA DILUCIÓN”

No sé lo que pareceré a los ojos del mundo, pero a los míos es como si hubiese sido un muchacho que juega en la orilla del mar, y se divierte de tanto en tanto encontrando un guijarro más pulido o una concha más hermosa, mientras el inmenso océano de la verdad se extendía, inexplorado, frente a mí.

Isaac Newton, “Principios matemáticos de la filosofía natural”

XIV. LA TEORÍA METAFÓRICA DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL

§. *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural de Newton*

La obra cumbre de Newton es *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*¹ (en adelante *Principia*), esta obra es una de las bases de la Física moderna y marca el nuevo espíritu de la construcción científica para la posteridad. En esta obra Newton desarrolla la teoría de la Gravitación Universal y establece las tres leyes del movimiento que llevan su nombre.

Newton trabaja con 10 metáforas que le permiten arribar a su famosa Ley de Gravitación, dos de ellas forman como un núcleo inamovible que guía a Newton, las restantes son como un marco metafísico² que rodea a este núcleo. Todas estas metáforas forman como un sistema que permite alimentar y revisar la construcción de Newton, y también advertir que todo cuerpo metafórico no es inocente: las metáforas revelan supuestos aspectos de la realidad dejando en la sombra u ocultando otros (cf. *supra*: *Organismo conceptual metafórico* en el Capítulo 1).

1. Traducción: Principios matemáticos de la Filosofía Natural. De *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* se hicieron tres ediciones en latín (1687, 1713 y 1726). Dos años después de la muerte de Newton, Andrew Motte tradujo la obra al inglés (hubo luego otras dos traducciones a este idioma en el siglo XVIII pero la de Motte fue la que se siguió editando). En 1930 Florian Cajori retocó la versión de Motte, y en 1999 I. Bernard Cohen hizo una nueva traducción desde la de Motte en inglés contemporáneo. Antonio Escohotado utilizó para la primera traducción al castellano la tercera edición en latín y la traducción de Motte (Newton, 1982). Una nueva traducción de *Principia* al castellano desde el latín es la de Eloy Rada (Newton, 2011).

2. Ya hemos mencionado a 4 de tales metáforas, la de la naturaleza como un libro matemático y las 3 referidas a “la buena lectura” de tal libro.

¿Por qué aparecen metáforas? Porque no hay, como dijimos, un punto de contacto fijo con la empiria que permita leerla matemáticamente o en un lenguaje preciso y desambiguado. Es lo que trataremos a continuación a propósito de *Principia*.

§. Dificultad para matematizar lo natural y metáforas implicadas

El fracaso histórico en la construcción de un lenguaje universal que refleje el mundo natural “tal cual es” o “con precisión matemática” (cf. *supra*: ¿La metáfora es un defecto del lenguaje? en Capítulo 1), habla de la dificultad que conlleva la tarea de matematizar a la naturaleza o de pretender que esta hable o responda en un lenguaje matemático. Lo veremos mostrando la evidencia empírica de la dificultad que presenta esa matematización.

¿Qué entendemos por “dificultad de la matematización”? Un doble aspecto: por un lado, la dificultad para arribar a una expresión matemática o modelo matemático que reproduzca de alguna manera el fenómeno y, por otro, la dificultad para obtener datos que *realmente* lo verifiquen. Notemos que estamos hablando de una dificultad en la justificación de un comportamiento matemático de la naturaleza (en el “contexto de validación”) y no en la dificultad para hallar una analogía que nos permita entender el fenómeno (en el “contexto de descubrimiento”). El surgimiento de metáforas como respuesta a la interrogación de la naturaleza es la manifestación de una falta inicial de respuestas “matemáticas”.

Para mostrar la dificultad señalada trataremos de retroceder lo más posible en el tiempo, hasta los albores de la ciencia moderna. Allí encontramos las primeras matematizaciones o “leyes básicas” de la naturaleza, frutos de un nuevo modo de concebir la realidad. Dichas leyes a modo de “ladrillos fundantes” permitirán —por analogía y deducción— nuevas matematizaciones de la naturaleza. La Ley más famosa de la física matemática y uno de sus ladrillos fundacionales (en tanto ha

servido de base para otros traslados metafóricos) es la de la gravitación universal de Isaac Newton.

§. *Las 10 metáforas que permiten a Newton arribar a su Ley*

Newton trabaja con 2 metáforas básicas, que constituyen un núcleo inamovible y son como “hipótesis de trabajo” del genial científico, ellas son la de la honda o boleadora que es la principal y la de la dilución del sonido o de la luz que complementa a la anterior.

Hay 8 metáforas que forman con las 2 anteriores un sistema lógico, es decir, no se trata de imágenes desconectadas. Así, el núcleo metafórico de 2 elementos es rodeado por un “marco metafórico” integrado por metáforas que influyen en Newton funcando como marcos metafísicos.³

Parte de este marco lo inclina a concebir lo real como “algo matemático”. Esta parte está integrada por 4 metáforas: la del artesano divino, la del libro matemático, la de la estructura euclidiana y la de la emanación.

Otra parte del marco metafórico la integran 2 metáforas que influyeron en Newton en lo referente al método de construcción de la teoría, ellas son la de las hormigas, las arañas y las abejas y la de los ídolos del pensamiento que ya hemos comentado.

Finalmente, parte del marco metafórico, lo constituyen 2 metáforas sobre el movimiento que Newton debió superar como obstáculos epistemológicos pues no encajaban en su sistema, ellas son la de la fuerza almacenada y la de los torbellinos acuáticos.

Explicitamos y describimos brevemente estas 10 metáforas a continuación para poder tener sobre ellas una mirada sinóptica,

3. No hay ciencia que no tenga su metafísica, como árbol que no tenga sus raíces. En el caso de la ciencia física o de la naturaleza, podemos comprender su relación con la Metafísica mediante la metáfora del *Árbol de la Ciencia* de Descartes: si el tronco de este árbol es la física, sus raíces son la metafísica, y su copa las consecuencias prácticas. Cf. *infra*: *El límite entre la física y la metafísica* en el Capítulo 7.

prometiando un desarrollo posterior según convenga haciendo pie en los mismos textos de Newton:

- **Metáfora de la honda o boleadora:** le permite a Newton ver a la gravedad (la fuerza de gravedad) *como* una fuerza similar a la que aparece tensionando la cuerda de una honda o boleadora por la rotación de la piedra (cf. Newton, 1982, p. 29, 81 y 473-474):

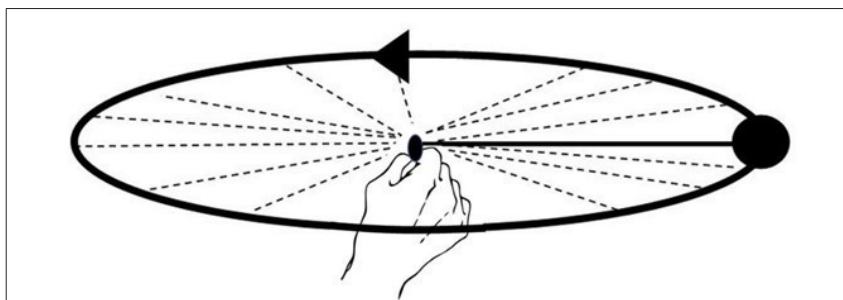


Figura N° 12: Metáfora de la honda o boleadora: la fuerza de gravedad que mantiene a la luna en su órbita alrededor de la Tierra, es como la tensión de la cuerda que mantiene a la piedra en revolución (elaboración propia: H.M.)

- **Metáfora de la dilución de la gravedad:** le permite a Newton imaginar que la gravedad⁴ disminuye o se diluye *como* se diluye

4. Newton imaginaba atracciones a distancia entre cuerpos masivos. Esto es, pensaba que lo que se diluía al alejarnos de un cuerpo masivo era la fuerza actuante sobre otro cuerpo masivo. Esta idea de atracciones a distancia fue deribándose poco a poco con los estudios sobre las líneas de fuerza de Faraday y Maxwell que daban entidad física a algo interpósito entre cuerpos masivos llamado campo gravitatorio. Faraday consideraba absurda la idea de atracciones a distancia (cf. Faraday, 1855, p. 532), Maxwell todavía la admitía para la gravitación desde la autoridad de Newton (cf. Maxwell, 1890a, p. 156). Metafóricamente el campo gravitatorio se fue constituyendo desde la consolidación de los campos magnético y eléctrico como veremos. Desde la teoría de campo lo que se diluye al alejarnos de un cuerpo masivo no es la fuerza sino la intensidad del campo, el cambio conceptual es grande, pero aún seguimos hablando de “las fuerzas sobre un cuerpo, pero no sobre las fuerzas *dentro* del campo” (Herrmann, 1989, p. 708, traducción y cursivas propias: H. M.).

el sonido del canto de un grillo al alejarnos de él, o bien, *como* se diluye la intensidad de la luz al alejarnos del foco que la produce, esto es con la inversa del cuadrado de la distancia:

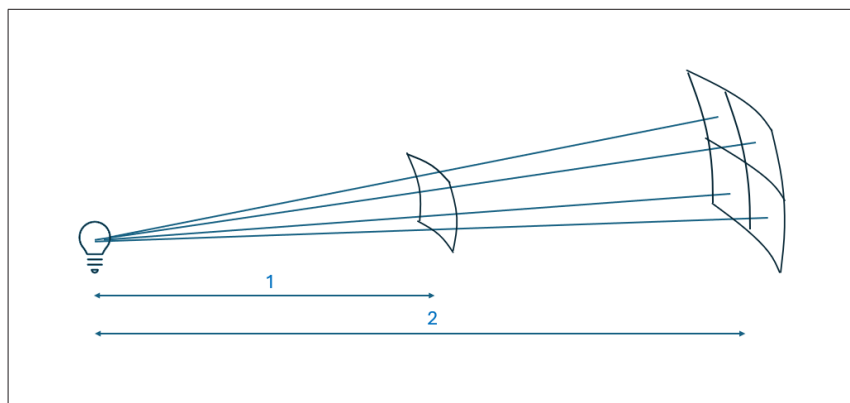


Figura N° 13: Metáfora de la dilución de la gravedad, a semejanza de la dilución de la luz. Esta se produce según la inversa del cuadrado de la distancia: la intensidad luz es cuatro veces más tenue al doble de la distancia (elaboración propia: H.M.).

Esta idea metafórica —según Rada— llegó a Newton desde el ambiente de los astrónomos:

La noción de una expansión de una acción física en razón inversa del cuadrado de la distancia tenía además de una buena apariencia para los astrónomos, dos antecedentes bien conocidos, ambos formulados y aceptados. El primero de esos antecedentes era la ley de Kepler relativa a la disminución de la intensidad luminosa desde el foco de luz, precisamente en razón del inverso del cuadrado de la distancia [...] Los elementos conceptuales de este primer caso pueden sistematizarse un tanto simplemente: la acción física de iluminar, sea cual sea la naturaleza de la luz, tiene un origen central, una expansión prácticamente instantánea (dejando de lado la cuestión del medio) y esférica en torno al foco de luz y la ley de intensidad para cada punto del espacio esférico considerado es

una ley de inverso del cuadrado de la distancia al centro, o foco de luz.⁵ (Rada en Newton, 2011, p. 22)

- **Metáfora del artesano divino:** la perfección geométrica que Newton encuentra en los movimientos celestes, la atribuye a la obra de un Dios Geómetra, que a modo de un artesano ha dejado la perfección matemática en su obra de la creación. Este Dios al que Newton llama *Amo del universo* y *Pantokrátor* —“todopoderoso”— (cf. Newton, 1982, p. 619-620) no sólo modela el universo matemáticamente sino que lo pone en marcha dándole el impulso inicial (así justifica el movimiento de los astros). La versión de la metáfora del artesano que propiamente usa Newton es la del *constructor de máquinas* medieval-renacentista (el *arte* del artesano es en este caso matemático o geométrico). Estudiaremos los detalles de esta metáfora en el Capítulo 11: *Marco metafísico de la ciencia contemporánea: la metáfora platónica del artesano leída por Heisenberg y la relación matemática-materia*.

- **Metáfora del libro matemático:** En esta conocida metáfora de Galileo Galilei (cf. Galilei, 1864 [1623], p. 60) la naturaleza es presentada como un libro escrito en caracteres geométricos. Esto es una consecuencia de ser el artesano de la metáfora anterior un geómetra todopoderoso. Esta metáfora atraviesa como un supuesto metafísico todo el trabajo de Newton en *Principia*. Estudiaremos los detalles de esta metáfora en el Capítulo 11.

- **Metáfora de la estructura euclidiana:** Newton busca hacer en filosofía natural lo que Euclides hizo en geometría, con unos pocos elementos o principios construir lógicamente (geométricamente) toda la física, para esto traslada (*metaféro*) la estructura

5. “El segundo de los antecedentes había sido publicado por Huygens en 1673 como apéndice de su *Horologium Oscillatorium* y es la Regla de la fuerza centrífuga. Para un movimiento circular uniforme esa fuerza es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad e inversamente proporcional al cuadrado del radio del círculo” (Rada en Newton, 2011, p. 22).

de los *Elementos* de Euclides a su obra de *Principia*. Lo veremos en detalle en *infra*: *Núcleo metafórico principal de “Principia”*.

- **Metáfora de la emanación:** según esta metáfora de Newton, de Dios emanan como si de una fuente o un manantial se tratara, la materia, el tiempo y el espacio absoluto (cf. Newton, 2006, p. 5-7). El artesano de la metáfora antes mencionada necesita materiales y espacio de trabajo que Newton imagina emanados de Dios. Veremos en detalle esta metáfora en el Capítulo 11.

- **Metáfora de las hormigas, las arañas y las abejas:** como hemos visto, esta metáfora de F. Bacon (cf. Bacon, 2011 [1620], p. 138 - Libro I aforismo 95) advertía sobre la necesidad de una “verdadera inducción” (cf. Bacon, 2011 [1620], p. 69 - aforismo XL), no cediendo a hipótesis sin fundamento (como los racionalistas que semejan a arañas fabrican telas que sólo provienen de sí mismos) ni a una acumulación ciega de datos (como los empíricos que sólo saben recoger como las hormigas).

- **Metáfora de los ídolos del pensamiento:** ya hemos mencionado a esta metáfora teológica de F. Bacon (cf. Bacon, 2011 [1620]) que advertía sobre la necesidad de purificar el pensamiento de influencias nocivas a las que se rinde culto por inercia y que deforman la visión de las verdaderas ideas dejadas por el Creador en la naturaleza (conecta aquí con la metáfora del artesano divino).

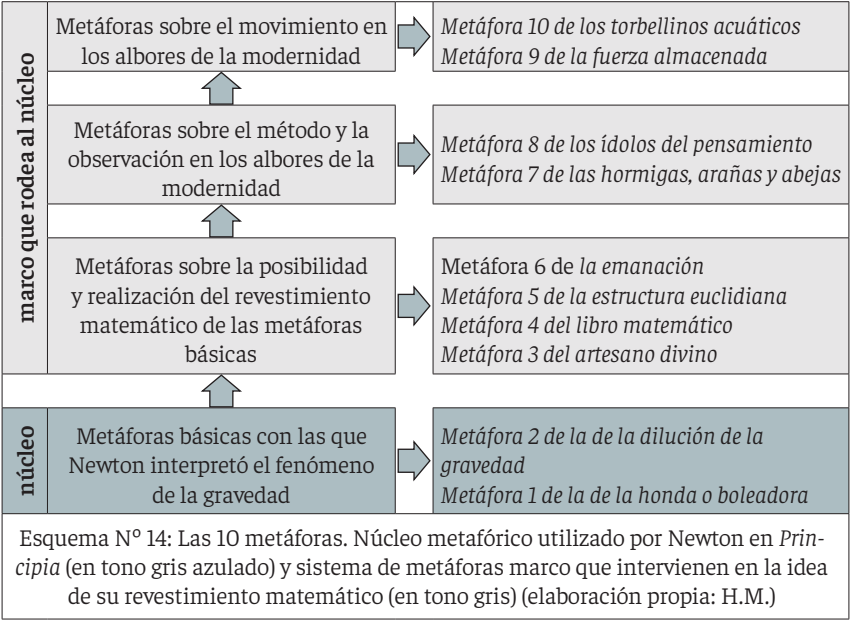
- **Metáfora de la fuerza almacenada:** Buridan y otros (entre ellos Galileo Galilei) explicaban el movimiento entendiendo que la fuerza impulsora quedaba almacenada en el móvil (como si de un recipiente se tratara). Para sus detalles ver en *infra* Anexo 1: *Metáforas interpretativas del movimiento*.

- **Metáfora de los torbellinos acuáticos:** con esta metáfora, René Descartes (1596-1650) intentaba explicar el movimiento de los astros en torno al Sol o de los satélites en torno a los planetas como consecuencia de remolinos o vórtices que los arrastraban (cf. Descartes, 2002, p. 138). Esta metáfora influyó en Newton como una imagen a la que tuvo que tratar y luego combatir

científicamente al no encajar en su sistema. Para sus detalles ver en *infra* Anexo 1.

§. Esquemas sinópticos sobre el sistema de metáforas

Esquema de “núcleo y marco” metafóricos



Generación del sistema metafórico de conceptualización

Las metáforas que permiten construir la Ley de gravitación universal forman un sistema con una interrelación genética que va más allá del mero esquematismo del “núcleo” y del “marco”. Ellas nos permiten reconstruir el pensamiento del genial científico y articularlo lógicamente en un sistema donde unas metáforas suponen a otras.

Por un lado Newton testimonia en *Principia* quedar maravillado por la regularidad y perfección geométrico-matemática del cielo, por lo que concluye que ello debe ser obra de un *Amo del universo* que todo lo gobierna (cf. Newton, 1982, p. 619-620). Aparece aquí la vieja metáfora del artesano divino (cf. el *Timeo* de Platón e *infra*: Capítulo 11) en la versión de un *ingeniero o constructor de máquinas* (versión de la época medieval renacentista, cf. Prigogine & Stenger, 2004, p. 77), pues Newton describe la perfección de la obra, no en términos artísticos, sino en términos geométricos-matemáticos.

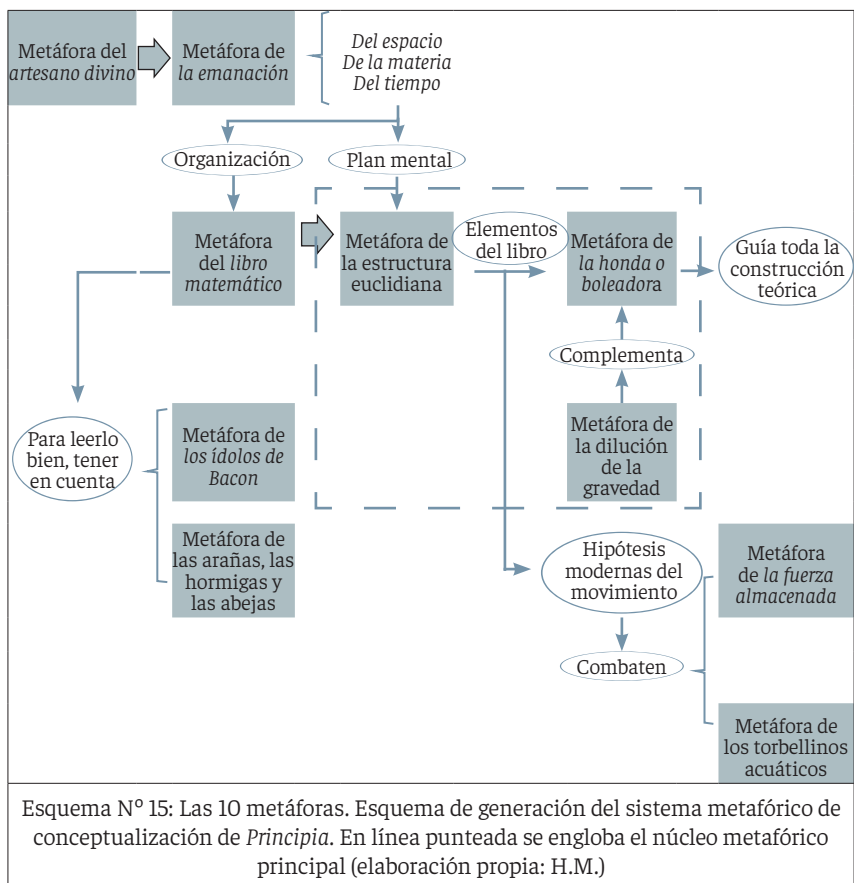
Este Dios ingeniero de mentalidad matemática —siguiendo con la metáfora— necesita de un espacio para trabajar y de materiales con los que construir, así Newton recurre a la metáfora de la emanación para postular que el espacio y la materia han *emanado* del mismo Dios (cf. Newton, 2006, p. 5-7). Newton necesita también a Dios para poner en movimiento o dar el impulso inicial a todo el sistema celeste (cf. Armstrong, 1995, p. 351). Tal movimiento evoluciona a través del tiempo y el tiempo también es concebido por Newton como una *emanación* del mismo Dios (cf. Newton, 2006, p. 7).

Este Dios matemático crea su obra en base a un plan que tiene en su mente matemática, por lo que ha dejado esta matemática plasmada en su creación. Si ha de tener lógica y perfección, el modelo que se despliega en la obra de la creación debe ser el de un *libro matemático* con elementos o axiomas, que permiten construir económica y trabadamente toda la matemática desplegada. Aparece aquí la metáfora del libro matemático (cf. Galilei, 1864 [1623], p. 60) que Newton reproduce o reconstruye en su *Principia* (Principios Matemáticos de la Filosofía Natural). Tal libro tiene que tener una perfección geométrico-matemática similar a la que se observa en los Elementos de Euclides, donde desde un pequeño número de elementos se va tejiendo todo el libro. Newton estructura su obra en base a los Elementos de Euclides, es decir, traslada esta estructura a su “libro” de *Principia* —aparece así la metáfora de la estructura euclidiana (cf. *infra*: Núcleo metafórico principal de “*Principia*”)—.

Si la estructura del libro es semejante a la de los *Elementos de Euclides* ¿cuáles serán los *elementos* necesarios para la construcción en el caso de *Principia*? Aparece así la metáfora de la honda o boleadora, sita al principio de *Principia*, como un elemento básico de construcción en la Definición V de *Principia* (cf. Newton, 1982, p. 29) (complementada por la metáfora de la dilución, cf. Rada en Newton, 2011, p. 22) y las hipótesis modernas sobre el movimiento que debieron ir en contra de las metáforas medievales interpretativas del movimiento: la metáfora de la fuerza almacenada de Buridan (a la que adhirió Galileo en una versión térmica, cf. *infra*: Anexo 1) y la metáfora de los torbellinos acuáticos de Descartes (cf. *infra*: Anexo 1).

Además, la confección de este libro —espejo de la mente divina del ingeniero constructor—, exige un nuevo método *experimental* que, por un lado, aleje a los lectores de los preconceptos errados del mundo vulgar —aparece así la metáfora de los ídolos (cf. Bacon, 2011 [1620])—, y que por otro no recaiga en elucubraciones sin fundamento o en un recoger datos sin ningún orden ni inteligencia —aparece así la metáfora de las arañas, las hormigas y las abejas (cf. Bacon, 2011 [1620], p. 138 - Libro I aforismo 95)—.

Sintetizamos lo dicho en el siguiente esquema jerárquico:



XV. NÚCLEO METAFÓRICO PRINCIPAL DE “PRINCIPIA”

§. *Metáfora de la estructura euclidiana*

*La ciencia está escrita en ese grandísimo libro que
tenemos abierto ante los ojos (me refiero al Universo)
[...] Está escrito en lengua matemática y sus caracteres
son triángulos, círculos y otras figuras geométricas...*
Galileo Galilei, “El Ensayador”

Las metáforas de Bacon sobre la buena lectura del libro de la naturaleza, marcan el nuevo espíritu de la modernidad, Newton opera como la *abeja* de Bacon: empiria, razón y contrastación empírica, es la terna que permitirá construir de modo nuevo el conocimiento científico (ni la sola elucubración de la araña, ni la sola acumulación empírica de la hormiga, cf. Newton, 1982, p. 13-14).

Newton en el ámbito de la operación de la razón establece un traslado metafórico grandioso. A ojos vista intenta hacer en la física lo que Euclides⁶ (c. 300 a.C.) hizo en geometría (o lo que Descartes propuso como método para la filosofía): con

6. Los *Elementos de Euclides* se utilizaron como texto durante 2.000 años. Hoy una versión modificada de sus primeros libros constituye la base de la enseñanza de la geometría plana en las escuelas secundarias. “A pesar de su común identificación con la geometría, el tratado comprende diversos campos temáticos de la matemática elemental y emplea métodos variados. Entre esos cuerpos figuran la teoría de la geometría plana (libros I- IV) y la geometría del espacio (XI-XIII), la teoría generalizada de la proporción (V-VI), la teoría aritmética (VII IX); el libro X es un tanto singular y, en sustancia, ofrece una conceptualización precisa de la inconmensurabilidad y una clasificación prolija de las variedades de rectas irracionales.” (Vega en Euclides, 1991, p. 18).

un pequeño número de principios o “elementos”⁷ simples (de algún modo evidentes como los de la matemática) obtener por deducción gran cantidad de conocimiento. La estructura de *Principia* resulta así un traslado metafórico de la estructura de los Elementos de Euclides.

Pero tal estructura si está adecuadamente construida produce la adhesión interior, se experimenta como verdad. La empresa cumplida por Euclides a partir de elementos simples —y cuya verdad puede encontrarse en traslados metafóricos muy básicos, cf. *infra*: *La base física de las ideas “puras” evidentes* en Capítulo 7— arroja como producto una obra que produce en el espíritu una “sensación de evidencia”.⁸ Esta sensación de verdad producida en el espíritu es uno de los éxitos de este modo de proceder inspirado en los elementos. Este modo geométrico revive en el SXVII, dice Vega: “Bajo el lema del ‘more geométrico’ o del ‘esprit dé la géométrie’ del siglo XVII, Euclides se convierte en el epónimo no tanto de una disciplina matemática como de un método de axiomatización (Vega en Euclides, 1991, p. 46-47). El “pórtico axiomático” de los *Elementos*, es señalado por Vega (cf. Vega en Euclides, 1991, p. 48), el libro I empieza con una serie de *Definiciones* entre las que encontramos:

7. Dice Navarro Loidi refiriéndose a los *Elementos* de Euclides que el título “Elementos” resume bien el contenido de la obra, pues para los griegos el elemento tenía dos significados, por un lado era lo que permitía construir y a la vez era lo más sencillo en que se resuelve lo complejo, así: “Los elementos son los conocimientos básicos que sirven para construir una teoría científica. Son por lo tanto los fundamentos de una rama del saber humano” (Navarro Loidi, 2005, p. 51-52). Desde esta perspectiva los elementos de un saber suponen un *análisis*, esto es, una “Distinción y separación de las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios o elementos” (DRAE).

8. Tal sensación es buscada luego por Descartes como “criterio de verdad” para la filosofía y para toda ciencia moderna (cf. Descartes, 2011, 5ª parte).

1) Un punto es lo que no tiene partes; 2) Una línea es longitud sin anchura; 3) Los extremos de una línea son puntos; 4) Una línea recta es aquella que yace por igual respecto de los puntos que están en ella; 5) Una superficie es lo que sólo tiene longitud y anchura. (Euclides, 1991 [300 a.C.], p. 189-191)⁹

Señala también Vega dos características de la axiomatización, la primera es la dependencia de estas definiciones con la experiencia de la “vida diaria” (cf. Vega, 1991, p. 50), es decir su génesis y sensación de evidencia es empírica, por ejemplo: una “línea” es “un rayo visual” (notar como se explica metafóricamente lo abstracto —una línea— por lo más concreto —un rayo visual—).¹⁰ Como segunda característica indica además su talante “estático”, que intenta “contrarrestar” su sustrato relacionado con la realidad material en la que encontramos movimiento por doquier (cf. Vega, 1991, p. 51).

Ha sido importante para nuestra investigación rescatar esta base empírica de lo axiomático, base que por “disecación” se resuelve en una idealización, esto es, en algo que si bien proviene de la empiria no puede verificarse empíricamente (cf. *infra*: *Mapa matemático y territorio físico* en el Capítulo 7). Einstein lo señala al hablar del impacto que siendo joven dejaron en su espíritu los *Elementos*, pero reconoce que los “axiomas evidentes” de la geometría euclidiana descansan en *inducciones empíricas* “harto incompletas” (Einstein, 1998, p. 14-15).

9. Vega marca la dependencia de estos “elementos” con Aristóteles, al que cita: “lo completamente indivisible según la cantidad y carente de posición se llama unidad, y cuando es completamente indivisible con posición se llama punto; lo divisible de una sola manera se llama línea; lo divisible de dos maneras, superficie, y lo divisible de las tres maneras cuerpo’ ($\Delta 7$, 1016-a24-28)” (Vega, 1991, p. 50).

10. “Euclides: elabora una noción de línea recta a partir de su concepción como un rayo óptico o visual, familiar quizás en medios relacionados con la observación astronómica” (Vega, 1991, p. 50).

Estos elementos o axiomas permiten ir de lo simple a lo complejo y a la vez —y como efecto reflejo— permiten descomponer lo complejo en esos elementos simples. Esta tarea de estructuración “geométrica” de la realidad, produce para la ciencia la paradoja de una reconstrucción que parece poder prescindir de la empiria, reproduciendo la vida interna del objeto, como si se lo hubiese obtenido a priori como lo expresamos en las Apostillas 2 y 3 del Capítulo 2.

Luego de las *Definiciones*, el cuerpo de “elementos” primeros se completa con *Postulados* —proposición cuya verdad se admite sin pruebas y es base de ulteriores razonamientos— y *Nociones Comunes* de tipo lógico como: “el todo es mayor que las partes [noción 8]” (Vega, 1991, p. 201, aclaración entre corchetes propia: H.M.). A partir de este pórtico axiomático comienzan los “Libros” integrados por *Proposiciones-Problemas* y *Proposiciones-Teoremas*:

Estructuración básica de los <i>Elementos</i> de Euclides				
Elementos = Pórtico axiomático de toda la obra, compuesto por:	{	1	Definiciones (son 132, cf. Euclides, 1991, p. 18)	
		{	2	Postulados (son 5, se trata de proposiciones cuya verdad se admite sin pruebas, cf. Euclides, 1991, p. 18)
			Nociones comunes o axiomas (son 5, se trata de proposiciones de tipo lógico, cf. Euclides, 1991, p. 18)	
				
Libros = Deducciones a partir de los <i>Elementos</i> . Estructura de cada Libro:	{	3	Proposiciones-Problemas	Se trata de 465 Proposiciones distribuidas en 13 Libros, cf. Euclides, 1991, p. 18
		4	Proposiciones-Teoremas	

Esquema N° 16: Estructura de los *Elementos* de Euclides (elaboración propia: H.M.).

Newton estructura sus *Principia* de modo semejante:

Estructuración de los Principia de Newton			
Elementos = Pórtico axiomático de toda la obra, compuesto por:		1	Definiciones (son 8, cf. Newton, 1982, p. 27-39)
		2	Axiomas o leyes del movimiento (son 3 seguidas de 6 Corolarios y un Escolio, cf. Newton, 1982 p. 42-57)
Libros = Deducciones a partir de los Elementos. Estructura de cada Libro:		3	Lemas (proposiciones que es preciso demostrar antes de establecer un Teorema) Proposiciones-Teoremas
		4	Proposiciones-Problemas
Son 3 Libros:			Libro I: El movimiento de los cuerpos (Newton, 1982, p. 58-282);
			Libro II: El movimiento de los cuerpos (en medios resistentes) (p. 283-456)
			Libro III: El Sistema del Mundo (matemáticamente tratado) (p. 457-903).
Esquema N° 17: Estructuración básica de los <i>Principia</i> de Newton (elaboración propia: H.M.).			

Claramente el Libro III de *Principia: El Sistema del Mundo (matemáticamente tratado)* (p. 457-903) es el más voluminoso (ocupa el 50% del total de la obra) y es diferente a los anteriores en cuanto que incluye al inicio 4 “Reglas para filosofar” sobre las observaciones de los astrónomos. Las mismas sintonizan con el principio económico manifestado en la obra de Euclides como veremos (con poco hacer —construir o reconstruir— mucho).

Elementos básicos de construcción de la estructura

Nos preguntamos ¿Cuáles son los “elementos” de los que parte Newton para llevar a cabo la construcción de los libros I, II y III? Eloy Rada señala en la Introducción a su traducción de *Principia* que lo

primero que encontramos son *Definiciones* y *Axiomas* (cf. Esquema N° 17, puntos 1 y 2) que sería —según nuestra postura— el paralelo en *Principia* al pórtico axiomático de los *Elementos*:

Lo primero que encuentra el lector [...] es un pequeño grupo de definiciones conceptuales cuya formulación debió costar a Newton mucho esfuerzo de rigor y crítica [...] ¹¹ Así se ve Newton en la necesidad de empezar por definir la cantidad de materia, “quantitas materiae”, la cantidad de movimiento y la fuerza ínsita (inercia), en términos cuantitativos o mensurables, de modo que resulten matematizables. (Rada en Newton, 2011, p. 30)

Dentro de estas *Definiciones* aparecen conceptos relacionados con la experiencia diaria: así, hay cuerpos que tienen una fuerza “ínsita” (en sí mismos “la llevan” como si fuesen recipientes). Si bien la expresión tiene resabios de la metáfora de la fuerza almacenada (según la cual los cuerpos se mueven porque el agente que los impulsa “dejó fuerza almacenada” en ellos, teoría de *ímpetus*, ver Anexo 1), Newton se esfuerza para que no se entienda de este modo y aclara que una cosa es la fuerza ínsita llamada “inercia” (proporcional a la masa del cuerpo ¹²) y otra la fuerza impresa (la que imprime el agente que empuja o frena el movimiento):

Tampoco se debe pasar por alto el esfuerzo realizado en las Definiciones III y IV para lograr una expresión libre de equívocos

11. “[...] puesto que esos conceptos, al menos en parte, circulaban de modo enmarañado y confuso, impregnados de ideas aristotélicas o escolásticas, ciertamente aligeradas de peso metafísico por la crítica de los siglos XIV y XV primero y por las depuraciones no siempre definitivas de Descartes, Galileo, Huygens, y algunos más.” (Rada en Newton, 2011, p. 30).

12. Piénsese en un vagón cargado que viene moviéndose, la metáfora ayuda a pensar que lleva en sí “una fuerza” que se manifiesta en la rotura o deformación o arrastre de lo que se le ponga adelante...

de las dos clases de fuerzas que van a entrar en consideración: la fuerza ínsita [inercia] y la fuerza impresa [el impulso que da origen o bien modifica el estado de movimiento]. La primera “que puede llamarse muy adecuadamente fuerza de inercia” es proporcional al “cuerpo”. La segunda “consiste en la mera acción” y no perdura en el cuerpo después de la acción. (Rada en Newton, 2011, p. 31)¹³ (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Resnick & Halliday rescatan el origen empírico o proveniente de la experiencia diaria del concepto de *Fuerza*: “el concepto primitivo de fuerza se relaciona con el esfuerzo que ejercemos con nuestros músculos empujando o jalando algo” (Resnick & Halliday, 1966, p. 108).

Para construir —entonces— en “filosofía natural” (física) como Euclides construyó en geometría, Newton necesita establecer *elementos básicos* sobre los que construir. Una imagen básica que desglosará para adquirir uno o más elementos de construcción es la imagen de la boleadora que guía su investigación (cf. *supra*: esquemas N° 14 y N° 15).

Elementos: la metáfora de la boleadora

Dentro del elenco de *Definiciones* de *Principia* aparecen hipótesis cuya procedencia es metafórica: es el caso de la fuerza de gravedad que sostiene y mantiene girando alrededor como atados a una cuerda invisible a los planetas alrededor del sol y a los satélites —como la Luna— alrededor de los planetas. Newton tomando una metáfora de Huygens (Newton, 1982, p. 81) entiende la fuerza de gravedad desde la imagen de la tensión que aparece en una cuerda al hacer girar una boleadora o una piedra en una honda (cf. *supra*: Figura

13. En estas Definiciones III y IV de *Principia*, Newton separa la fuerza impresa de la fuerza ínsita, despojando a esta última de la teoría medieval de *ímpetus* de Buridan (cf. *infra*: Anexo 1 *Metáforas interpretativas del movimiento* y Peduzzi & Zylbersztajn, 1997).

Nº 12). Entonces “define” axiomáticamente la fuerza de gravedad como una fuerza centrípeta. La Definición V trae concretamente el ejemplo de la honda o de la “boleadora”: “Definición V: Fuerza centrípeta es aquella por la cual los cuerpos son arrastrados o impedidos, o tienden de cualquier modo hacia un punto como hacia un centro” (Newton, 1982, p. 29). Esta definición general sobre una fuerza centrípeta, esto es, que empuja hacia un centro, es aplicada por Newton a la gravedad:

De este tipo es la gravedad, por cuya mediación los cuerpos tienden hacia el centro de la Tierra, como también la fuerza magnética que atrae el hierro al imán, y esa fuerza —sea la que fuere— en cuya virtud los planetas son continuamente apartados de los movimientos rectilíneos que de otra manera seguirían, y obligados a girar en órbitas curvas. (Newton, 1982, p. 29)

Inmediatamente, Newton ilustra la definición y aplicación a la fuerza gravitatoria con la metáfora de la honda:¹⁴

Una piedra que da vueltas en una honda se esfuerza por alejarse de la mano¹⁵ que la hace girar y por ese esfuerzo distiende la honda tanto más cuanto que con mayor velocidad gira, y sale volando tan pronto como es liberada. Llamo fuerza centrípeta a aquella que se opone a ese esfuerzo, y mediante la cual la honda atrae continuamente la piedra hacia la mano y la retiene en su órbita, porque se dirige hacia la mano como hacia

14. Newton toma esta metáfora de Huygens (cf. Newton, 1982, p. 81).

15. Newton suponía inicialmente que si la cuerda se cortaba, la piedra era despedida radialmente y no tangencialmente (por eso inicialmente entendía a la “fuerza centrípeta” como lo que se oponía a una “fuerza centrífuga”), es Robert Hooke quien depura a la analogía de esta ficción de Newton (cf. *infra*: *Perfeccionamiento de la metáfora de la honda por parte de Hooke* en Anexo 3).

el centro de la órbita (Newton, 1982, p. 29) (subrayado y nota al pie propias: H.M.)

Luego (conforme a las reglas económicas para filosofar situadas al inicio del Libro III) Newton dice que este mecanismo de la fuerza centrípeta ilustrada por la metáfora de la honda es universal:

Y lo mismo debe entenderse de todos los cuerpos que giran en órbitas. Todos intentan alejarse de los centros de sus órbitas, y de no ser por la oposición de una fuerza contraria que se lo impide, manteniéndolos en sus órbitas, y que por eso llamo centrípeta, partirían en líneas rectas con un movimiento uniforme [...] (Newton, 1982, p. 29) (subrayado propio: H.M.)

Finalmente, Newton une los movimientos de cielos y tierra, estableciendo que lo mismo que sucede en el cielo, sucede con un proyectil lanzado en la tierra:

Y tal como un proyectil, por la fuerza de gravedad, puede hacerse girar en una órbita y circundar toda la Tierra,¹⁶ así también la Luna bien por la fuerza de gravedad, si está dotada de gravedad, o por cualquier otra fuerza que la empuje hacia la Tierra puede ser desviada continuamente del curso rectilíneo que seguiría por su fuerza ínsita y obligada a girar en su órbita actual, y sin esa fuerza la Luna no podría ser mantenida en su órbita. (Newton, 1982, p. 29) (subrayado y nota al pie propias: H.M.)

Notemos que Newton pone como definición al comienzo de *Principia* lo que tratará de probar en toda su obra, pues una fuerza centrípeta como la de la honda o boleadora se puede vincular a través

16. Analizaremos esta posibilidad de poner en órbita un proyectil en *infra*: *El fracaso de la prueba lunar* en Capítulo 5.

de la tercera Ley de Kepler con la inversa del cuadrado de la distancia (cf. *infra*: *La metáfora de la honda de Huygens* en Anexo 3), tal relación inversa cuadrática es lo que cuesta verificar empíricamente en el caso —por ejemplo— del sistema Tierra-Luna (cf. *infra*: *El fracaso de la prueba lunar* en Capítulo 5 y —respecto de la metáfora de la dilución— *Las pruebas no concluyentes con péndulos y pesajes*, también en capítulo 5).

Reconoce Newton la autoría de Huygens de la genial analogía en el Escolio (explicación) que sigue al Corolario IV de la Proposición IV del Primer Libro de *Principia*: “Huygens, en su eximio tratado *De Horologium Oscillatorium* ha comparado la fuerza de gravedad con las fuerzas centrífugas de cuerpos en revolución” (Newton, 1982, p. 81, subrayado propio: H.M.).

Esta “definición” sobre la fuerza centrífuga (que luego Newton interpreta como “centrípeta”, cf. *supra* nota 15) es una hipótesis de gran osadía fogoneada por la analogía de la honda o boleadora, lo que abona la presencia de procesos metafóricos en la base de la teoría científica. Puede verificarse indirectamente que se trata de “algo traído de otro lado” (por traslado metafórico inteligibilizador) y no de “algo presente y extraído de la realidad” en la dificultad para aplicar la metáfora de la honda o boleadora para el sistema Tierra-Luna, esto es obtener datos que comprueben la matematización de esa metáfora aplicada a ese sistema (cf. Newton, 1982, p. 473). Comenta Rada respecto de la definición V de la fuerza centrípeta:

El resto de las definiciones, supuesta la pertinencia de las anteriores, se dedica a la fuerza centrípeta [...] el lector hallará que en la Definición V se afirma con toda osadía que la gravedad es una fuerza centrípeta por la que los cuerpos tienden hacia el centro de la Tierra o, lo que quizá sea más atrevido, por la que los planetas son continuamente apartados de las trayectorias rectas y retenidos en giro por líneas curvas [...] las Definiciones V a VIII relativas a la fuerza centrípeta y sus clases [...] De ésta lo más

notable es, sin duda, su aparente identificación con la gravedad y la no menos aparente inclinación de Newton a afirmar la realidad de la misma. Si la física actual acaba por darle la razón, después de haberle reprochado tantas veces que con esa identificación había reintroducido por la puerta trasera a las denostadas “cualidades ocultas” de la escolástica, no por ello habrían desaparecido los problemas mayores apuntados antes. (Rada en Newton, 2011, p. 31-32) (subrayado nuestro: H.M.)

Esta metáfora de la piedra que gira atada a una cuerda, aún con una sola imagen el mecanismo que actúa en la Tierra y en el Cielo, dos ámbitos de la realidad que hasta entonces se habían mantenido separados. Newton enlaza estos ámbitos homogeneizándolos con una sola ley (conforme al espíritu económico de la “segunda regla para filosofar”, cf. Newton, 1982, p. 461-463, cf. *infra*: *La economía de las cuatro “Reglas para filosofar” de Newton*): el movimiento curvilíneo de planetas en torno al sol, de las lunas en torno a los planetas, de los cometas y también el movimiento de un proyectil arrojado desde la superficie de la tierra están regidos por la misma ley o por las mismas proporcionalidades. Que lo que pasa en el ámbito del cielo tenga las mismas leyes de lo que pasa en el de la tierra es una idea que rompe con una tradición que siempre —y por motivos teológicos— mantuvo separados esos dos sectores (en *infra*: *La matemática de la mente divina* —en Capítulo 7— veremos cómo la idea de un dios que se encarna en lo material de algún modo da base a una legalidad universal).

Elementos: las hipótesis del movimiento

Para establecer las tres leyes del movimiento Newton debió purificar (con la ayuda de Robert Hooke) la *metáfora de la honda* de Huygens de otras dos metáforas que entraban en colisión con la adecuada interpretación de la misma: las metáforas de la fuerza almacenada

de Buridan y la metáfora de los torbellinos o vórtices acuáticos de Descartes. En el Anexo 2 desarrollaremos la dependencia de estas 3 leyes con el entramado de concepciones metafóricas que nos vuelve a hablar de un *sistema de metáforas* (cf. *supra*: *Las 10 metáforas que permiten a Newton arribar a su Ley*) que operan por coherencia (afianzando la metáfora central de la honda) y también por contraste (purificando la interpretación de la metáfora central) en el desarrollo de las concepciones teóricas. Sumamos al entramado, las consecuencias de suponer por parte de Newton la “emanación” metafórica desde Dios de un espacio absoluto y homogéneo (desde la metáfora del artesano divino, cf. *infra*: Capítulo 11): con tal suposición Newton pone las semillas de la ley de la inversa del cuadrado (para la ley de dilución de la gravedad con el aumento de la distancia al “foco”) y de las hipótesis del movimiento (cf. *infra*: *Newton: las consecuencias de un espacio absoluto y homogéneo* en Capítulo 12).

El análisis mecánico extendido a toda la naturaleza

El entramado metafórico se resuelve en “elementos” —definiciones e hipótesis del movimiento— con los que Newton realiza una reconstrucción mecánica de los movimientos en cielo y tierra que a él le gustaría extender a toda la naturaleza: “Me gustaría que pudiésemos deducir el resto de los fenómenos de la Naturaleza siguiendo el mismo tipo de razonamiento a partir de principios mecánicos” (Newton, 1982, p. 6), con lo cual está sentando el principio de que todo lo relacionado con la naturaleza es explicable “mecánicamente”.¹⁷ Este anhelo de Newton se cumplió

17. ¿Qué significa explicar mecánicamente? Significa que para Newton todos los fenómenos de la naturaleza dependen de fuerzas de atracción y de repulsión “en cuya virtud las partículas de los cuerpos —por causas hasta hoy desconocidas— se ven mutuamente impelidas unas hacia otras y se unen en figuras regulares o son repelidas y se alejan unas de otras. Siendo desconocidas estas fuerzas los filósofos han investigado en vano la Naturaleza hasta hoy, pero espero que los

parcialmente hasta el análisis de los fenómenos electromagnéticos que cuestionaron la “omnipresencia” de fuerzas *centrales* (es decir, actuantes según la dirección que une los *centros* de las partículas) (cf. “Génesis y ascensión del punto de vista mecánico” y “La declinación de la interpretación mecánica de la física” en Einstein & Infeld, 1974, p. 9-60 y 61-103 respectivamente).

principios aquí expuestos arrojarán cierta luz sobre este método de filosofar, o sobre alguno más veraz” (Newton, 1982, p. 6-7).

XVI. EL MANEJO NEWTONIANO DE SUS ELEMENTOS

§. *La economía de las cuatro “Reglas para filosofar” de Newton*

Como adelantamos a propósito del Esquema N° 17, Newton en sus *Principia* en el Libro III estableció las “Reglas para filosofar”, esto es, nuevas reglas filosóficas o racionales que atienden a la observación¹⁸ empírica y al principio económico (correspondiente a la “razón ordenadora”, cf. *supra*: *Metáfora de las hormigas, las arañas y las abejas*) que manifiesta la obra de Euclides —con poco hacer mucho—. Las tres primeras reglas marcan una economía que supone una homogeneidad del cosmos:

Regla Primera: *No debemos para las cosas naturales admitir más causas que las verdaderas y suficientes para explicar sus fenómenos. [...]*

Regla II: *Por consiguiente, debemos asignar tanto como sea posible a los mismos efectos las mismas causas. [...]*

Regla III: *Las cualidades de los cuerpos que no admiten intensificación ni reducción, y que resultan pertenecer a todos los cuerpos dentro del campo de nuestros experimentos, deben considerarse*

18. Comenta Eloy Rada en la Introducción a su traducción de *Principia* que Newton trabajó con los datos observados por otros: “[...] hay un aspecto en este tercer libro que debemos resaltar aquí [...]: lo motiva inicialmente el amplio aparato observacional reunido por Newton para ser incorporado como datos observables de cada uno de los problemas. Si notamos que no era ‘profesionalmente’ un astrónomo ni un observador dotado de instrumental adecuado que dependía de las tablas de observación y de los datos publicados o comunicados por otros y además tenemos en cuenta las muchas tablas y datos que logró reunir ya desde la primera edición (si bien esta labor continuó para las siguientes y dio lugar a múltiples correcciones y cambios de datos), tendremos una mejor idea del alcance del proyecto abordado por Newton en este libro” (Rada en Newton, 2011, p. 39)

cualidades universales de cualesquiera tipos de cuerpos. [...] consta universalmente por experimentos y observaciones astronómicas que todos los cuerpos situados en torno a la Tierra gravitan hacia ella [...] debemos como consecuencia de esta regla admitir universalmente que todos los cuerpos sin excepción están dotados de un principio de gravitación mutua. (Newton, 1982, p. 461-462, en cursivas el enunciado de la Regla y en tipología normal el comentario de Newton, así en el original; subrayados propios: H.M.).

La cuarta regla marca la necesidad de ser como la abeja de Bacon y no como Aristóteles:

Regla IV: En filosofía experimental debemos recoger proposiciones verdaderas o muy aproximadas inferidas por inducción general a partir de fenómenos, prescindiendo de cualesquiera hipótesis contrarias, hasta que se produzcan otros fenómenos capaces de hacer más precisas esas proposiciones o sujetas a excepciones. Hemos de seguir esta regla para que el argumento por inducción no pueda ser eludido por hipótesis. (Newton, 1982, p. 462-463, en cursivas el enunciado de la Regla y en tipología normal el comentario de Newton, así en el original; subrayados propios: H.M.).

No vale ya la postura filosófica de Aristóteles y sus principios imaginados o metafísicos:

[...] ofrezco esta obra como principios matemáticos de la filosofía, pues toda la dificultad de la filosofía parece consistir en pasar de los fenómenos de movimiento a la investigación de las fuerzas de la Naturaleza y luego demostrar los otros fenómenos a partir de esas fuerzas; a ello se enderezan las proposiciones generales de los dos primeros Libros (Newton, 1982, p. 6)

Esta frase de Newton significa que su geometría —desarrollada en los libros I y II de *Principia*— fundamenta mecánicamente el Sistema del Mundo —Libro III de *Principia*—. Es decir, ella se “encarna” en las cosas dando fundamento (matemático) a la Filosofía (Física).

XVII. RESULTADO: PERFECCIÓN GEOMÉTRICA EN EL CIELO

§. *Movimientos celestes según secciones cónicas*

Desde el método inductivo (cf. *supra*: Regla IV para filosofar) Newton parece proponerse extraer desde la empiria las leyes matemáticas, pero veremos que la hipótesis de la honda o boleadora guiará su producción y la búsqueda de datos que la metáfora torna relevantes.

Convencido de que Dios ha dejado su huella de perfección matemática en lo que ha creado lo que hará sin demasiada consciencia será hacer bajar el platónico mundo (por lo perfecto) de la geometría a la tierra, produciéndose la “matematización de la naturaleza”. Así los *Principia* son un tratado de geometría innovador: una geometría no estática o del sólo espacio como la de Euclides sino dinámica que introduce el tiempo, a través del movimiento y la fuerza, ingredientes que encontramos en los movimientos terrestres y celestes.

Los *Principia* están repletos de proporciones semejantes a las de los *Elementos de geometría* de Euclides, la diferencia —repetimos— es que en los *Elementos* de Euclides las proporciones se planteaban únicamente entre cantidades espaciales mientras que Newton estableció proporciones geométricas o matemáticas entre cantidades de magnitudes diferentes mezclando líneas o superficies con velocidades, aceleraciones, fuerzas o tiempos. En esta superación de la geometría griega —como referimos— le ha proporcionado un camino la Geometría de Descartes.

En el Prefacio a la primera edición de *Principia* Newton presenta a grandes rasgos su plan y método: en los dos primeros libros de su obra prepara el terreno matemático guiado por la analogía de la honda o boleadora de Huygens perfeccionada por Hooke. Este esquema teórico-matemático está previamente construido a las

mediciones que deberán comprobarlo y en el tercero “lo aplica” a los fenómenos que son de algún modo “ajustados” a este esquema teórico (cf. Newton, 1982, p. 6-7). En los dos primeros libros (Libro I y Libro II) entonces Newton analiza movimientos suponiendo fuerzas centrales¹⁹ que dependen de la inversa del cuadrado de la distancia. Esta dependencia es muy interesante para Newton pues de ella resultan movimientos que responden a las secciones cónicas de la geometría.²⁰ Las trayectorias resultantes son elipses (para los planetas, satélites y algunos cometas) y parábolas e hipérbolas (para los cometas). Recordemos que la circunferencia puede considerarse una elipse especial, de excentricidad nula. Vale esta aclaración pues si bien las trayectorias planetarias son elipses, la “excentricidad” de las mismas en el caso Tierra-Sol y Tierra-Luna es baja, por lo que son prácticamente circulares (cf. Serway & Jewett, 2008, p. 368).

El mismo Newton en el Escolio general con el que culmina “El Sistema del Mundo” (Libro III de *Principia*) se maravilla de que los movimientos de los satélites en torno a los planetas (los seis planetas principales) y de los planetas entorno al Sol sean “circulares”, en el mismo sentido de rotación y en el mismo plano de giro:

19. Como se supone que es la fuerza gravitatoria que actúa sobre un planeta en órbita alrededor del sol (ubicado en el foco de la “elipse” de la trayectoria) o de un satélite en órbita alrededor de un planeta, actuante según la línea recta que une los centros de gravedad de los cuerpos.

20. Hay que acentuar, que la Ley de Gravitación de Newton es *universal*, es decir válida tanto en el Cielo como en la Tierra. No sólo los movimientos de los cuerpos “celestes” que se realizan bajo la acción gravitatoria (tal como la concibe Newton: fuerzas centrales dependientes de la inversa del cuadrado de la distancia que separa las masas) llevan a trayectorias que se describen como “secciones cónicas”, sino que también los movimientos de proyectiles en el ámbito terrestre (salvo el tiro vertical) si pudiésemos prescindir del rozamiento (condición usual en un primer curso de Física) también responderían a esta perfección geométrica mencionada.

Los seis planetas primarios [principales] giran en torno al Sol en círculos concéntricos, con movimientos dirigidos hacia las mismas partes [en el mismo sentido de giro] y casi en el mismo plano. Diez lunas giran en torno a la Tierra, Júpiter y Saturno en círculos concéntricos, con la misma dirección de movimiento y casi en los planos de las órbitas de esos planetas. (Newton, 1982, p. 618)²¹ (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Newton observa que “aproximadamente” las trayectorias celestes son secciones cónicas, pero no cuenta con mediciones muy precisas como para probar fehacientemente que las órbitas coinciden con elipses y parábolas. En el prólogo de Newton a la tercera edición de *Principia* manifiesta:

En el Libro Tercero se expone más plenamente la argumentación para probar que la Luna es retenida en su órbita por la gravedad; y se añaden allí nuevas observaciones hechas por el señor Pound sobre la proporción de los diámetros de Júpiter unos con otros. Se añaden también algunas observaciones sobre el cometa que apareció en 1680, hecho por el señor Kirk en Alemania durante el mes de noviembre y sólo llegadas a mis manos recientemente. Con su ayuda resulta manifiesto cómo responden a órbitas casi

21. Perfección y regularidad que lo llevan —como ya vimos— a un postulado teológico: “Pero no debe suponerse que simples causas mecánicas podrían dar nacimiento a tantos movimientos regulares [...] Este elegantísimo sistema del Sol, los planetas y los cometas sólo puede originarse en el consejo y dominio de un ente inteligente y poderoso [...] Este rige todas las cosas, no como alma del mundo, sino como dueño de los universos” (Newton, 1982, p. 618). Ling, Sanny, Moebs establecen que salvo la de Mercurio, las trayectorias de los planetas son prácticamente circulares: “Kepler demostró que estas órbitas son en realidad elipses, pero las de la mayoría de los planetas del sistema solar son casi circulares. La distancia orbital de la Tierra al Sol varía apenas un 2 %. La excepción es la órbita excéntrica de Mercurio, cuya distancia orbital varía casi un 40 %.” (Ling *et al.*, 2021a, p. 658).

parabólicas los movimientos de los cometas. La órbita de ese cometa es determinada algo más exactamente que antes, según cálculos de Halley, en una elipse. Y se muestra que, en esta órbita elíptica, el cometa siguió su curso a través de los nueve signos de los cielos, con tanta precisión como los planetas se mueven en las órbitas elípticas definidas por la astronomía. También se añade la órbita del cometa aparecido en 1723, calculada por el señor Bradley, profesor de astronomía en Oxford. Is. Newton. Londres, 12 de enero de 1725. (Newton, 1982, p. 26) (subrayado y resaltado propios: H.M.)

Como observamos, el hecho de que las trayectorias de los cometas sean “casi parabólicas” lleva a Newton a afirmar —en otras palabras— que el exponente de la ley de gravitación es un 2. Pero —quizás— si el exponente en la ley de gravitación en vez de un 2 fuera un número cercano²² al 2, digamos $2 + \delta$ con un δ “muy pero muy pequeño” (Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 56), las órbitas seguirían siendo “casi” parabólicas o “casi” elípticas o “casi” hiperbólicas. Hay una búsqueda de simplicidad y de armonía o belleza y todo apunta que la variación se produce con la inversa del cuadrado de la distancia, y esta suposición ha logrado enormes éxitos y ha permitido avanzar grandemente a la ciencia, por lo que no tenemos derecho a dudar; pero como dicen Halliday y Resnick (respecto del exponente 2 en la Ley de Coulomb que veremos en el próximo capítulo) “las medidas no podrían convencernos” (Halliday & Resnick, 1977, p. 959)... Hay un esquema que nos convence.

En descargo de una acusación de faltas de pruebas sobre la ley del cuadrado de la inversa de la distancia remitimos al Capítulo 11 donde ofrecemos las grandes metáforas inevitables con las que trabajan Galileo, Kepler y Newton: un Dios creador y matemático o

22. Cf. respecto del exponente 2 de la ley simétrica de la de la gravedad para masas eléctricas o ley de Coulomb, lo que diremos en *infra* Capítulo 6.

geómetra que ha dejado su escrito matemático ante nuestros ojos: la naturaleza (metáfora de Galileo). Aun aceptando que el método para probar que el exponente es exactamente un 2 es válido, nos preguntamos: ¿cumple la ley del cuadrado de la distancia con la cuarta regla para filosofar? ¿*Obtuvo inductivamente* Newton la ley de la inversa de los cuadrados? En *Principia* parece guiado por una perspectiva teórica de base metafórica (Libros I y II) que trata de corroborar experimentalmente (Libro III).

Capítulo 5

MATEMATIZACIÓN DE LAS METÁFORAS CENTRALES QUE GUÍAN A NEWTON Y PRUEBAS EMPÍRICAS SOBRE SU MODELO MATEMÁTICO

Una cosa es jugar con la geometría y otra verificar con la naturaleza

Giordano Bruno, “La cena de las cenizas”

XVIII. REVESTIMIENTO MATEMÁTICO Y PRUEBAS EMPÍRICAS

Como reza el epígrafe “una cosa es jugar con la geometría y otra verificar con la naturaleza” (Bruno, 2015, p. 194), es decir, la imagen metafórica de la honda o boleadora del dominio fuente nos permite plantear relaciones matemáticas que provienen de la experimentación con los cuerpos que giran atados. Pero otra cosa muy distinta es verificar que eso funciona en el dominio meta que involucra cuerpos celestes (cf. *infra*: *El fracaso de la prueba lunar* —respecto de la metáfora de la dilución— *Las pruebas no concluyentes con péndulos y pesajes*).

§. *La matematización tal como aparece en Principia*

¿Figura en Principia la Ley de gravitación?

La pregunta puede sorprender al lector o lectora. En cualquier libro elemental de física o en cualquier página de internet sobre el tema, podemos encontrar la ecuación matemática de la Ley pero en *Principia* no está expresada de este modo.

Antonio Escohotado traductor de los *Principia* al castellano dice que a Newton se le atribuyen cosas que él no sostuvo al menos en las formas en que se le atribuyen:

Poner en castellano los *Principia* se parece algo a traducir una biblia que todos citan y nadie encuentra en su lengua, ni casi en la ajena.¹

1. “Publicados en Londres en 1687, los principios matemáticos de la filosofía natural son uno de esos libros que todo el mundo cita pero muy pocos han leído; pues si el puesto que ocupa en la historia del pensamiento es tan principal como acreditado, su lectura presenta serias dificultades debidas a la comple-

Ninguna obra tan fundamental ha sufrido en grado tan parejo el destino de una influencia abrumadora y una completa falta de presencia “física”. Con el texto a mano, el lector paciente comprobará que Newton nunca sostuvo muchas de las tesis atribuidas a la llamada mecánica newtoniana y, a la inversa, que sí mantuvo otras muchas silenciadas o ignoradas. (Newton, 1982, *Al lector*)

Entre las cosas atribuidas que no figuran en principia está la famosa ecuación. Porque no hay en esta obra ecuaciones algebraicas sino construcciones geométricas acompañadas de palabras que hablan de proporciones pero no de ecuaciones. Todo ello está en sintonía con este apegarse Newton a la Estructura y modo de evidencia de los Elementos de Euclides. Reconstruyendo —a partir de lo que dice Newton en *Principia* la famosa Ley— el resultado final podemos expresarlo matemáticamente del siguiente modo y en forma de proporcionalidad:

$$F \propto \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Esta expresión —reiteramos— no la encontraremos en *Principia* (de donde la mayoría de los autores dice haberla tomado, por ejemplo: Serway & Jewett, 2009, p. 363; ni tampoco la segunda ley del movimiento —otra de las más usadas en ciencias físicas—). Aclaremos cada uno de sus componentes: F es la intensidad de la fuerza de gravedad con que se atraen dos cuerpos masivos, m_1 es la masa de un cuerpo, m_2 la masa de otro, y d^2 la distancia que separa sus centros gravitatorios elevada al cuadrado. Esta última expresión d^2 al estar dividiendo, materializa lo que se conoce como “la ley de la inversa del cuadrado” que ya hemos mencionado. El símbolo “ $\propto$ ” expresa la proporcionalidad de lo que está a la izquierda con lo que

iedad propia de alguno de sus teoremas, junto a la sujeción deliberada del autor a las reglas del método geométrico en su demostración.” (Newton, 1982, nota introductoria del editor).

está a su derecha, el punto ubicado entre m_1 y m_2 indica un producto entre lo que está a la derecha y lo que está a su izquierda y la línea horizontal indica un cociente entre lo ubicado arriba y lo ubicado debajo de ella. Traducida a palabras dice que la fuerza de gravedad entre los cuerpos masivos es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional a la distancia entre sus centros gravitatorios elevada al cuadrado.

En esta forma de proporcionalidad, la expresión de la ley sólo nos dice como aumenta o como disminuye la fuerza, pero no nos permite hallar el valor numérico de la misma. Expresada matemáticamente en su forma de *igualdad* o de “ecuación” (de *equal*) la ley de la gravitación universal se expresa:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

donde G es la “constante de la gravitación universal” que viene a ser el factor que faltaba para convertir la proporcionalidad en una igualdad. Esta constante se suele llamar “de proporcionalidad” pues permite compatibilizar las distintas unidades, ya que gracias a ella obtenemos unidades de fuerza a partir de unidades de masa y de distancia.

En palabras la ecuación dice que la fuerza de gravedad entre dos cuerpos se determina multiplicando la masa de uno por la del otro, dividiendo luego el producto obtenido por la distancia que separa sus centros gravitatorios elevada al cuadrado (ley de la inversa del cuadrado de la distancia) y multiplicando finalmente este resultado por una constante de proporcionalidad G .

Arribar a esta ley supone dificultades grandes que trataremos de manifestar en base a las hipótesis y a los datos con los que trabaja Newton. Newton es verdaderamente un titán en lo genial de su hipótesis sobre la gravedad (disparada por una metáfora de Huygens) y en su tratamiento matemático-geométrico (disparado por la geometría de las leyes de Kepler), pero debido a esta fuerza

titánica pareciera por momentos que se le quiere arrancar una respuesta positiva a la naturaleza ante la “interrogación matemática” de la misma.

§. *La versión “empalabrada” de la Ley*

Newton propone el espíritu de la ley en dos proporciones que nunca asocia en una sola: la proporcionalidad directa entre la masa de un cuerpo y la fuerza de atracción que este ejerce; y la proporcionalidad inversa entre la fuerza de atracción que ejerce un cuerpo y la distancia a la cual se ejerce —respecto del centro de gravedad del mismo— elevada al cuadrado. Las propone con palabras y no con simbología matemática.

El producto de las masas

Según lo que hemos visto, la ley de gravitación se anota en forma de ecuación o bien de proporcionalidad de la gravedad con el producto de las masas. De la proporcionalidad directa entre la masa de *un* cuerpo y la fuerza de atracción que éste ejerce, habla Newton en los siguientes lugares:

- En el Libro III, Proposición VII, Teorema VII leemos: “Que el poder de la gravedad pertenece a todo cuerpo en proporción de la cantidad de materia que cada uno contiene” (Newton, 1982, p. 480). Y en el texto de esta misma Proposición: “[...] la gravedad que tiende hacia todos los planetas es proporcional a la materia que éstos contienen” (p. 480).

Los puntos en donde Newton hace referencia más explícita a que en una fuerza de atracción entre dos cuerpos intervienen las masas de los dos cuerpos, pero sin decir explícitamente que se trata de una multiplicación:

- En el Libro I, Proposición LXIX, Teorema XXIX, dice hablando de la atracción entre cuerpos que “[...] las fuerzas absolutas de

los cuerpos atractivos A y B serán entre sí como los cuerpos mismos A y B a quienes pertenecen tales fuerzas” (Newton, 1982, p. 236-237).

- En el Libro III punto 20 Newton afirma:

Puesto que la acción de la fuerza centrípeta sobre los cuerpos atraídos es, a igual distancia, proporcional a las cantidades de materia en dichos cuerpos, la razón exige que sea también proporcional a la cantidad de materia en el cuerpo que atrae. Pues toda acción es mutua, y hace (por la tercera Ley del Movimiento) que los cuerpos se acerquen mutuamente, por lo que tiene que ser la misma en ambos cuerpos. Podemos, desde luego, considerar que un cuerpo atrae y el otro es atraído, pero esta distinción es más matemática que natural. En realidad, la atracción reside en cada cuerpo hacia el otro y es, en consecuencia, de la misma especie en ambos. (Newton, 1982, p. 841-842) (subrayado propio: H.M.)

Es decir, en el cuerpo atraído la fuerza centrípeta es proporcional a su masa, pero la razón exige que sea también proporcional a la masa del cuerpo que atrae.

- En el Libro III punto 21 Newton afirma:

Aunque las atracciones mutuas de dos planetas puedan distinguirse y considerarse como dos acciones mediante las cuales cada uno de ellos atrae al otro, estas acciones, al ser mutuas, no suponen dos operaciones, sino una operación entre dos términos [...] No hay una acción de atracción de Júpiter por el Sol y otra del Sol por Júpiter, sino una sola acción por la que el Sol y Júpiter pugnan mutuamente por acercarse. Mediante la acción con que el Sol atrae a Júpiter, Júpiter y el Sol pugnan por acercarse (por la tercera Ley del Movimiento), y mediante la acción con que Júpiter atrae al Sol, Júpiter y el Sol pugnan igualmente por acercarse.

Pero el Sol no es atraído hacia Júpiter por una doble acción, ni Júpiter hacia el Sol por una doble acción, sino que existe una sola acción intermedia por la que ambos se acercan [...] En este sentido debemos concebir el ejercicio de una sola acción entre dos planetas, acción debida a la naturaleza combinada de ambos. Y esta acción, al estar en la misma relación a ambos, será proporcional a la cantidad de materia en uno si es proporcional a la cantidad de materia en el otro. (Newton, 1982, p. 842-843) (subrayado propio: H.M.)

Vemos que Newton aplica la tercera ley o principio de acción y reacción, al hablar de la atracción mutua entre dos planetas y establece que es proporcional a la cantidad de materia en ambos. Que la relación matemática de las masas en el numerador de la ley de gravitación universal responda a una multiplicación es una inferencia desde la simetría planteada por la tercera ley del movimiento de Newton, pero en *Principia* no está explicitada.

El cuadrado de la inversa de la distancia

De modo distinto a lo que sucede con la proporcionalidad directa con la masa, de la proporcionalidad inversa entre la fuerza de atracción y la distancia a la cual se ejerce elevada al cuadrado, habla muchas veces a lo largo de la obra, siempre con palabras, nunca con simbología matemática. En el Corolario VI de la Proposición IV del primer libro de los *Principia* enuncia así su idea por primera vez al hablar de cuerpos que se mueven describiendo “círculos” de determinado radio: “Las fuerzas centrípetas serán inversamente como los cuadrados de los radios” (Newton, 1982, p. 81). Newton llega a esta relación a partir de una analogía con la fuerza centrípeta de un cuerpo en revolución (honda o boleadora) y una combinación con la 3ª Ley de Kepler del movimiento planetario (cf. *infra*: Anexo 3: *Revestimiento matemático de la metáfora newtoniana de la boleadora*).

En el Escolio que sigue al Corolario VI de la Proposición IV del primer libro de los *Principia* recién citado, dice:

El caso del sexto Corolario se mantiene en los cuerpos celestes (como han observado varias veces Wren, Hooke y Halley); por eso mismo pretendo en lo que sigue tratar más ampliamente lo que concierne a la fuerza centrípeta decreciente como los cuadrados de las distancias con respecto a los centros. Además, mediante la Proposición precedente y sus Corolarios podemos descubrir la proporción de una fuerza centrípeta a cualquier otra fuerza conocida, como la gravedad. Pues si por medio de su gravedad un cuerpo gira en un círculo concéntrico a la Tierra, esa gravedad es la fuerza centrípeta de tal cuerpo. Pero (por el Corolario IX de esta Proposición) está dado, partiendo del descenso de los graves, el tiempo de toda una revolución y el arco descrito en cualquier momento. Y mediante esas proposiciones Huygens, en su eximio tratado *De Horologium Oscillatorium* ha comparado la fuerza de gravedad con las fuerzas centrífugas² de cuerpos en revolución. (Newton, 1982, p. 81) (nota al pie y subrayado nuestro: H.M.)

Según la formulación de Newton, la fuerza de gravedad disminuye según la distancia aumenta elevada al cuadrado. En el párrafo recién citado Newton trae la analogía de Huygens (ya mencionada en *supra* como uno de los “elementos” utilizados por Newton en la estructura “euclidiana” de *Principia*), así como un cuerpo en revolución experimenta una fuerza centrípeta —una piedra atada a una cuerda y puesta a girar al modo de una “boleadora” o de una piedra

2. Como anunciamos en nota 15 del Capítulo 4, Newton bajo la autoridad de Huygens entendió inicialmente la gravedad como una fuerza “centrífuga”, pues erróneamente interpretaba que si la cuerda del modelo de la boleadora se cortaba, la piedra era despedida radialmente y no tangencialmente. Es Robert Hooke quien depura a la analogía, interpretando la gravedad como fuerza “centrípeta” (cf. *infra*: *Perfeccionamiento de la metáfora de la honda por parte de Hooke* en Anexo 3).

en una honda por ejemplo—, así los cuerpos celestes en rotación experimentan una fuerza centrípeta que es semejante al tirón de “una cuerda invisible” que los mantiene en órbita (cf. *supra* Figura N° 12 en Capítulo 4). La gravedad es una fuerza “centrípeta”, porque tiende hacia un centro que es el centro de gravedad del cuerpo que la produce (la Tierra en el ejemplo de Newton).

§. *Matematización desde la metáfora de la dilución*

La metáfora de la honda o boleadora es complementada por otra metáfora básica, con lo cual se refuerza la idea de una entrada previa de la analogía para la posterior demostración matemática o búsqueda de resultados aproximados a la teoría. Históricamente la idea de la inversa del cuadrado de la distancia llegó a Newton por una carta de Hooke (cf. Moledo, 2013, p. 250). Esta idea de Robert Hooke (1635-1703) no era original, pues ya Johannes Kepler (1571-1630) había propuesto para la iluminación lo que Hooke le sugirió a Newton para la gravedad³: que disminuye en razón inversa a la distancia elevada al cuadrado (cf. Vallejo, 2005, p. 27 y Rada en Newton, 2011, p. 22).

Por razones de geometría euclidiana el efecto de un foco de luz o de sonido si se extiende uniformemente (esféricamente) por todo el espacio circundante, tiene que disminuir según se aumenta la distancia. Es evidente que al alejarnos de un farol o de un grillo que canta, menos intensidad de luz o de sonido percibimos. Que la disminución se da según la inversa del cuadrado de la distancia a que estemos del foco es evidente, pues así va aumentando la

3. Como ya lo anunciamos (cf. *supra* nota 4 del Capítulo 4), para Newton lo que disminuye es la fuerza de gravedad, porque creía en una *acción a distancia* entre cuerpos masivos, esto es, no tiene la idea de campo gravitatorio que se generará luego desde las ideas y estudios de Faraday, Maxwell y Thomson. Desde la teoría de campo podemos decir que lo que se diluye es la intensidad del campo gravitatorio.

superficie de la esfera creciente que se va formando a medida que nos alejamos del mismo (es lo que señaló Kepler):

Imaginemos una fuente luminosa de intensidad constante, o una fuente de la que brota agua en todas las direcciones, o una fuente de calor en un sólido uniforme. Imagínense dos esferas, una mayor que otra, concéntricas con la fuente. La luz, el agua y el calor se difundirán, como se sigue de la geometría de las esferas, con intensidad decreciente según la ley del inverso del cuadrado de la distancia. Tomemos como ejemplo la fuente luminosa. Toda la luz de la esfera más interna proviene de la fuente que está en su centro. Esta misma luz alcanzará la segunda esfera, de manera que la misma cantidad de luz incidirá sobre una y otra (se supone constante la intensidad de la fuente). Como la segunda esfera es mayor, tendrá menos cantidad de luz por unidad de área: la intensidad será menor. Las superficies de las dos esferas están en razón de los cuadrados de sus radios. Así, una parte de la segunda, que esta dos veces más alejada que la primera, tendrá solo la cuarta parte de la luz en su superficie. En general, la intensidad decrecerá con el inverso del cuadrado de la distancia a la fuente (Berkson, 1981, p. 40-41)

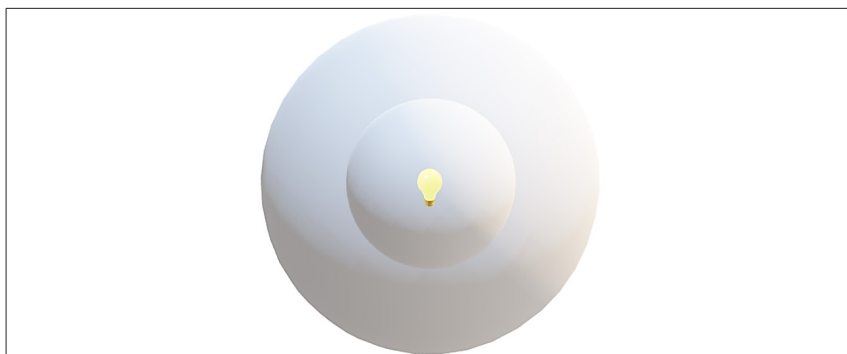


Figura N° 14: Visualización de la ley del inverso del cuadrado mediante la metáfora de la dilución de la luz al alejarnos de la fuente luminosa. (elaboración propia: H.M.)

Suponiendo dos esferas imaginarias concéntricas al foco de luz, una de radio doble que el de la otra, la intensidad de la luz que llega a la superficie de radio doble será cuatro veces más chica que la intensidad que llega a la de radio menor debido a que la superficie de la esfera aumenta con el cuadrado de su radio. El traslado metafórico que llega a Newton por Hooke es que la gravedad debe disminuir con la misma ley.

Paul Hewitt (2007) enseña en el capítulo sobre gravitación la ley del inverso del cuadrado según la misma idea de Hooke-Newton, pero sin nombrarlos (cf. p. 165) ¿será una recuperación inconsciente bajo máscara de didáctica de la analogía primigenia que dio origen al modelo matemático de la ley de la inversa del cuadrado? Hewitt pide al lector que imagine que la gravedad se diluye en la misma proporción con que disminuye el espesor de una capa de pintura arrojada por un aerosol a medida que nos alejamos de su pico difusor. Es semejante a la dilución de la luz a medida que nos alejamos del foco:

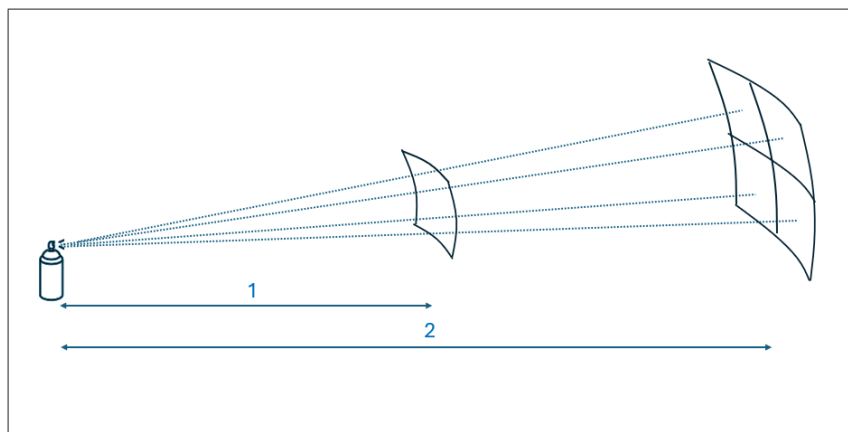
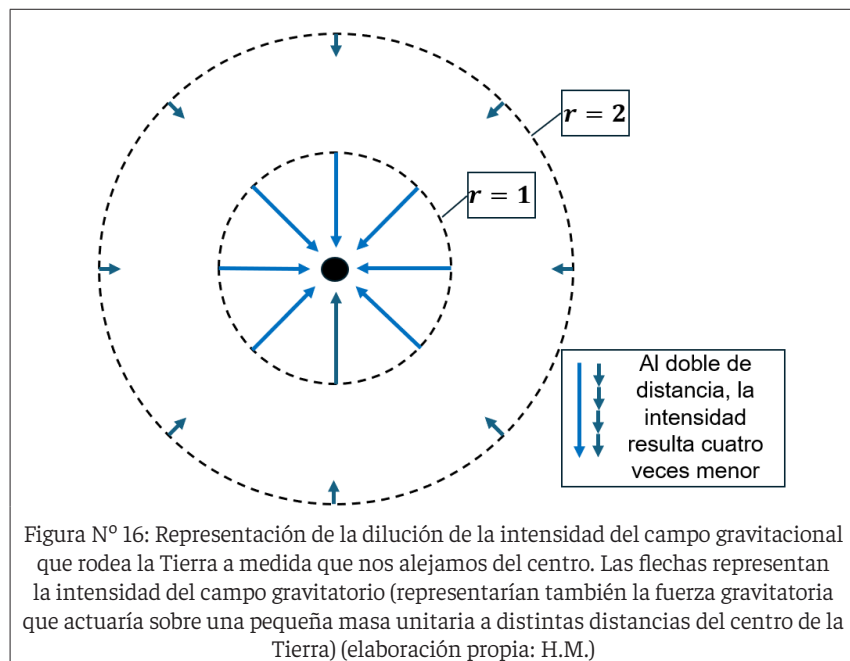


Figura N° 15: La dispersión de las partículas de pintura lanzadas mediante un aerosol es el mismo caso de la dilución de la luz: por razones geométricas y de simetría se “diluyen” con la inversa del cuadrado de la distancia. Así, como puede colegirse de la figura, la capa de pintura es cuatro veces más delgada al doble de la distancia (elaboración propia: H.M.).

La superficie de la esfera es proporcional al radio elevado al cuadrado. Al alejarnos del foco de luz o de sonido o del centro de gravedad las intensidades de la luz, del sonido o de la gravedad disminuirían según la distancia elevada al cuadrado. Aunque por razones de geometría euclidiana parece evidente que la iluminación y la gravedad disminuyen así, la única forma de probarlo es midiéndolas. Con un fotómetro se puede medir la iluminación que da una vela a distintas distancias y decidir si la hipótesis de Kepler es correcta o no.

Pero ¿La gravedad es el mismo caso que la luz, el sonido o la pintura como suponen Hooke y Newton? Hay que medir ¿pero con qué medir la gravedad en relación con la distancia “al foco” que la produce? La gravedad es proporcional al peso pero la distancia al foco es el radio de la Tierra cuya medida indirecta trae dificultades (el método es el de Eratóstenes del 250 a.C.)...



Las pruebas no concluyentes con péndulos y pesajes

Sabemos que la gravedad varía según la latitud geográfica porque un péndulo dado oscila con distinto período y un cuerpo cae con distinta aceleración. Newton concluye a partir del atraso de relojes de péndulo al ir hacia el ecuador que la Tierra no debe ser una esfera perfecta (cf. Newton, 1982, p. 498-499). En *Principia* Newton no compara las aceleraciones según las latitudes, pero sí el largo de los péndulos para un período de oscilación dado. Así para que un péndulo oscile en el ecuador con el mismo período que en París le tenemos que reducir el largo.⁴ Por el largo de los péndulos podemos formarnos una idea de lo intensa que es la gravedad en una latitud dada.

En los polos de la Tierra, como la distancia al centro del planeta es más pequeña, la aceleración de la gravedad será más grande y por tanto el período será más pequeño. En el Ecuador terrestre al ser la distancia al centro de la Tierra mayor, la aceleración de la gravedad es menor y en consecuencia el período resulta mayor.

En el Libro III en la Proposición XX, Problema IV, Newton plantea como problema “Determinar y comparar entre sí los pesos de los cuerpos en las diversas regiones de nuestra Tierra” (cf. Newton, 1982, p. 496-497). Si logra además determinar la distancia al centro de la Tierra para cada medida (utiliza para esto mediciones aproximadas realizadas por científicos según el método de Eratóstenes del 250 a.C., cf. Newton, 1982, p. 492) tendrá un medio para verificar la ley de la inversa de los cuadrados, si para un radio R_1 tenemos un peso P_1 y para un radio R_2 un peso P_2 , entonces si la ley de la inversa del cuadrado es cierta resultará $\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$. Pero el mismo Newton observa que a la luz de las mediciones obtenidas con péndulos y volcadas en una tabla (“Tabla N° 2” en Newton, 1982, p. 498): “De

4. Las leyes del péndulo se resumen en $T = 2\pi \cdot \sqrt{l/g}$ donde T es el período, l la longitud del péndulo y g la aceleración de la gravedad en el lugar de medición. Galileo y Huygens determinaron que la fórmula es válida para oscilaciones de amplitud pequeña.

esta tabla, en consecuencia, se desprende que la desigualdad de grados es tan pequeña que la figura de la Tierra, para cuestiones geográficas, puede considerarse esférica”.

Es decir, por el camino de los péndulos o el pesaje de cuerpos en distintas latitudes y calculando los grados en función del arco terrestre a partir del método de Eratóstenes, los cálculos no son concluyentes sobre la dependencia de la gravedad con la inversa del cuadrado del radio.

Newton recurrirá —entonces— para la verificación a la “prueba lunar”. Esta “prueba lunar” no arroja buenos resultados porque el radio usado por Newton para la Tierra es demasiado pequeño (cf. *infra*: *El fracaso de la prueba lunar*). Varios años después con nuevas mediciones Newton observa que los valores calculados se aproximan bastante a la predicción teórica (cf. *infra*: *El poder de la metáfora: un stand by de 13 años*).

De todo esto se deduce que el periplo más bien parece ser la verificación aproximada de una hipótesis (aunque esto parezca ir en contra la Regla IV *para filosofar*). La ley de la gravitación universal tiene detrás una hipótesis genial y atrevida y un “mapa” geométrico-matemático con el que “desciende a la física”, a la observación que presenta bastantes dificultades. Newton es honesto al no confundir el “mapa” con el “territorio”, sabe que la verificación de la teoría basada en la metáfora de la honda o boleadora es sólo aproximada pero constituye un avance genial para el estudio de la naturaleza. Nos interesa remarcar la influencia de esta metaforización y los esfuerzos para validarla o para revestirla de matemática.

§. *Matematización de la metáfora de la boleadora*

En el Anexo 3 el lector o la lectora interesados podrán observar la reconstrucción del proceso de matematización de esta metáfora arribando a la expresión de la Ley de Gravitación tal como ha llegado

hasta nosotros (en forma de “ecuación” algebraica). Como advertimos, esta forma de matematización no aparece en *Principia*, donde sólo hay construcciones geométricas, proporciones y sentencias donde Newton se expresa en palabras pero no en ecuaciones. Escrita en forma de proporción, la expresión de la Ley para el sistema Luna-Tierra tiene la forma:

$$F \propto \frac{M_L \cdot M_T}{r^2}$$

Donde F es la intensidad de la fuerza de atracción entre la Tierra y la Luna, M_L es la masa de la Luna, M_T es la masa de la Tierra y r es la distancia que separa el centro de la Tierra del centro de la Luna. La metáfora de la honda supone que la Luna es la “piedra” que rota en una circunferencia de radio r , siendo el centro de la Tierra el centro de giro. ¿Cómo *verificar* esta Ley basada en la metáfora? Lo veremos a continuación.

El fracaso de la prueba lunar

Encontramos en *Principia* que el esquema matemático desarrollado en los dos primeros Libros (I y II) es aplicado por Newton en el Libro III.⁵ Este esquema teórico basado en la metáfora de la honda propone que las fuerzas gravitatorias dependen de los cuadrados de las distancias que separan las masas. Tomemos como ejemplo, la aplicación del esquema teórico de la honda o boleadora al sistema Tierra-Luna. En la Proposición IV, Teorema

5. En *Principia* las fuerzas gravitatorias son analizadas por Newton en función de las inversas de los cuadrados de las distancias en los siguientes sistemas: las lunas de Júpiter respecto de Júpiter (Libro III. Proposición I. Teorema I, cf. Newton, 1982, p. 471); el planeta Júpiter respecto del Sol (Libro III. Proposición II. Teorema II, cf. Newton, 1982, p. 471); la Luna respecto de la Tierra (Libro III. Proposición III. Teorema III, cf. Newton, 1982, p. 472 y Fuerza de gravedad Tierra-Luna, Libro III. Proposición IV. Teorema IV, cf. Newton, 1982, p. 473)

IV, del Libro III de *Principia*, enunciada como: “Que la Luna gravita hacia la Tierra y es continuamente apartada de un movimiento rectilíneo y retenida en su órbita por la fuerza de la gravedad” (Newton, 1982, p. 473). Leyendo el escrito se advierte “la incomodidad de la naturaleza” para adaptarse al “molde lógico matemático” de los teóricos libros previos (cf. Newton, 1982, p. 473-474). ¿Cómo lo hizo?

Newton supone de modo genial que la Luna *cae hacia la Tierra* atraída por la fuerza de gravedad como cae una manzana cerca de la superficie terrestre, con lo cual hipotetiza en base a las tres primeras Reglas para Filosofar una unificación legal de Cielo y Tierra. ¿La Luna está cayendo? Claro, no llega a tocar el suelo —ni “se nos viene encima”— porque está en “órbita”... Para comprenderlo observemos el esquema del mismo Newton sobre el lanzamiento de proyectiles desde una montaña “muy elevada”:

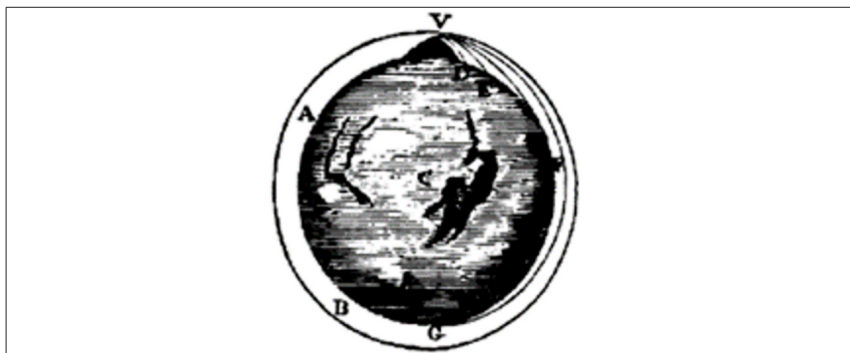
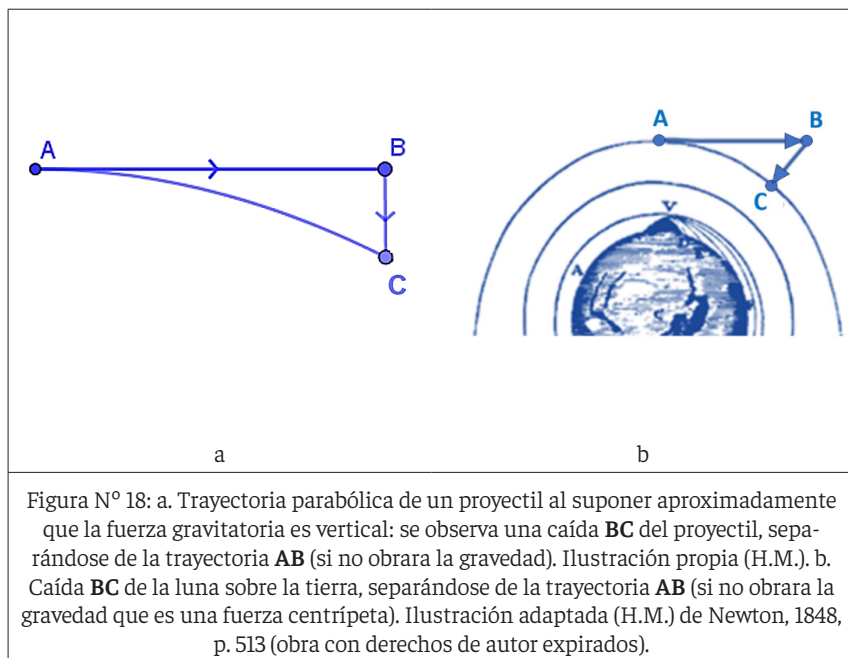


Figura N° 17: Trayectorias de un proyectil lanzado paralelamente a la superficie de la tierra desde el punto V situado en la cima de una montaña muy elevada. A mayor impulso inicial, mayor alcance (F, G, B, A) llegando un momento en que el proyectil no toca la tierra sino que queda en órbita (se supone que la montaña es “muy elevada” y no hay atmósfera en su cima, es decir, no hay rozamiento), describiendo una trayectoria cerrada como la mostrada. Ilustración tomada de Newton, 1848, p. 513 (obra con derechos de autor expirados).

A más velocidad, más lejos de la montaña cae el proyectil, que llega hasta F, luego hasta G, luego hasta B, luego hasta A y finalmente

“no llega” a tocar tierra, quedando en órbita según una trayectoria cerrada ¿está cayendo? Claro! Pero sin tocar tierra.

Lo mismo sucede con la Luna en órbita, está cayendo pero no toca la Tierra, Newton razona pensando que si no existiese la fuerza de atracción, tanto cerca de la superficie de la Tierra (esquema “a” de la Figura N° 18), como en el caso de la Luna (esquema “b” de la Figura N° 18), la trayectoria sería una recta según el segmento **AB** de la Figura, pero si la fuerza de gravedad actúa, tanto el proyectil como la Luna *caen* la cantidad simbolizada por la longitud del segmento **BC**:



En base a este esquema y suponiendo que vale la Ley de la inversa del cuadrado en base a las metáforas de la boleadora y de la dilución, Newton calcula cuánto debe “caer” la Luna pero los cálculos no le dan bien... “Según testimonio citado por Cohen, Newton ‘se sintió frustrado’ [...] porque los cálculos no correspondían a las

expectativas a propósito de la ‘prueba lunar’” (Boido, 1998, p. 342). Weinberg refiere dónde estuvo el problema que frustró a Newton:

Newton consideró que el radio de la órbita de la Luna (conocido a partir de las observaciones del paralaje diurno de la Luna) era 60 veces el radio de la Tierra; de hecho, es 60,27 el radio de la Tierra. Utilizó un tosco cálculo del radio de la Tierra,⁶ que dio un tosco valor para el radio de la órbita de la Luna, y sabiendo que el periodo sideral de la revolución de la Luna en torno a la Tierra es 27,3 días, pudo calcular la velocidad de la Luna, y de ahí su aceleración centrípeta. Esta aceleración resultó ser menor que la aceleración de los cuerpos que caen sobre la superficie de la Tierra por un factor aproximado (muy aproximado) de $1/60^2$, tal como sería de esperar si la fuerza que mantiene a la Luna en su órbita es la misma que atrae a los cuerpos hacia la superficie terrestre, aunque reducida de acuerdo con la ley de la inversa del cuadrado (Weinberg, 2016, p. 220) (nota al pie agregada y subrayado propio: H.M.)

Newton compara la aceleración centrípeta de la Luna en su órbita y la aceleración hacia abajo de un cuerpo que cae cerca de la superficie de la Tierra, arriesgando que deberían estar —conforme a la esperada ley de la inversa del cuadrado de la distancia— en una proporción de $1/60^2$. Retomando lo recién citado Weinberg refiere la principal fuente de error

6. ¿Cuál es el radio de la tierra? Eratóstenes (c. 250 a.C.) obtuvo aproximadamente el radio terrestre utilizando consideraciones geométricas y midiendo el ángulo de una sombra proyectada por una torre (es análogo al método que están siendo utilizados por los científicos que cita Newton para tal medida, cf. Newton, 1982, p. 492). Según Hewitt (2007, p. 4), el método de Eratóstenes logró un ángulo de $7,2^\circ$. Según Asimov (1987, p. 22) dicho ángulo medido por Eratóstenes fue de $7,5^\circ$. El método de Eratóstenes permite establecer una relación entre el arco de la circunferencia terrestre y el ángulo barrido por este arco, lo cual nos pone en la pista por consideraciones geométricas simples de la determinación del radio de esa circunferencia que es el radio terrestre.

de Newton, comentando que a pesar de la diferencia entre lo teórico y lo calculado, Newton terminó afirmando que los valores “se parecen bastante”, hoy un error de esta magnitud aboliría la suposición teórica:

A partir de las medidas del paralaje diurno de la Luna, en la época de Newton se sabía de manera exacta que la distancia media desde la Tierra era 60 veces el radio de la Tierra. (La proporción real es 60,27). Para calcular el radio de la Tierra, Newton consideró que 1' (minuto de arco) en el ecuador era una milla de 5000 pies, de manera que siendo 360° un círculo completo y 60' igual a 1°, el radio de la Tierra era: $\frac{360 \cdot 60 \cdot 5000 \text{pies}}{2 \cdot \pi} = 17190000 \text{pies}$ (El radio medio es en realidad 20926300 pies. Esta fue la mayor fuente de error en el cálculo de Newton). Se sabía de manera exacta que el período orbital de la Luna (el mes sideral) era de 27,3 días, o 2360000 segundos. La velocidad de la Luna en su órbita era por tanto: $\frac{60 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 17190000 \text{pies}}{2360000 \text{seg}} = 2745 \frac{\text{pies}}{\text{seg}}$ lo que da una aceleración cen-

trípeta de: $\frac{(2745 \text{pies}/\text{seg})^2}{60 \cdot 17190000 \text{pies}} = 0,0073 \frac{\text{pies}}{\text{seg}^2}$. Según la ley de la inversa del cuadrado, esto debería ser igual a la aceleración de los cuerpos que caen en la superficie de la Tierra, $32 \text{pies}/\text{seg}^2$, dividido entre el cuadrado de la raíz de la razón entre el radio de la órbita de la Luna y el radio de la Tierra, lo que nos da una aceleración centrípeta de: $\frac{32 \text{pies}/\text{seg}^2}{60^2} = 0,0089 \text{pies}/\text{seg}^2$. Cuando Newton afirmó que “se parecen bastante”, se refería a esta comparación entre la aceleración centrípeta lunar “observada” de $0,0073 \text{pies}/\text{seg}^2$ y el valor esperado a partir de la ley de la inversa del cuadrado, de $0,0089 \text{pies}/\text{seg}^2$ [los valores son muy distintos, pero] Newton lo hizo mejor después [mantuvo todo en una especie de stand-by o modo de espera hasta que llegaron nuevos datos] (Weinberg, 2016, p. 353-354) [Además de Principia, Weinberg ha consultado la fuente: Newton, Isaac, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, ed. D. Thomas Whiteside (Cambridge University Press, Cambridge, 1968)] (aclaración y comentarios entre corchetes propios: H.M.)

Boido también refiere que el fracaso de la inicial “prueba lunar” se debió a que el radio de la Tierra considerado por Newton era demasiado pequeño (cf. Boido, 1998, p. 341).

Aun así, aunque la evidencia empírica no le funcionó, Newton no abandonó su esquema de la boleadora y de la dilución...

El poder de la metáfora: un stand by de 13 años

Trece años después del primer intento fallido una medición de Picard de mayor exactitud hizo que las diferencias fuesen mínimas (cf. Newton, 1982, p. 473-474; 832-833):

[...] deduje que las fuerzas que mantienen a los Planetas en sus Órbitas deben de ser inversamente proporcionales a los cuadrados de sus distancias del centro en torno al cual giran, y así comparé la Luna en su Órbita con la fuerza de la gravedad en la superficie de la Tierra, y descubrí que se correspondían de manera bastante aproximada. (Newton citado Weinberg, 2016, p. 218-219) (subrayado propio: H. M.)

Es importante notar que la analogía o metáfora de la honda o boleadora sigue primando en el espíritu de Newton aunque su matematización le haya traído un primer resultado no satisfactorio: en *Principia*, luego de ese primer intento, Newton utiliza —varios años después— valores “más ajustados” con los que se aproxima más a su teoría de la honda o “boleadora”.

En consecuencia: la primera dificultad en cuanto a la matematización que arroja la ley de gravitación universal para tal sistema la observamos en todas las simplificaciones o aproximaciones geométricas realizadas y la segunda dificultad en las aproximaciones de los datos o mediciones tomadas de los astrónomos de la época.

El lector inadvertido de un libro de Física puede llegar a confundir el modelo matemático con la realidad (o el “mapa” con el “territorio”). Hay que advertirle que se trata de un modelo útil y genial pero que no puede afirmar (salvo que lo haga “dogmáticamente”) la *naturaleza* matemática de la realidad a la que aproxima. Normalmente esta asimilación conduce a cierta impostación robótica de lo humano en tanto elimina la dimensión artística y la emoción en la actividad científica (parece que la caricatura del científico “serio” está integrada por los caracteres de la falta de emoción y de natural descrédito ante todo lo que no sea medible).

XIX. LA LEY DE GRAVITACIÓN EN LOS TEXTOS DE CIENCIA

§. *Reorganización artificial y experimentos imaginarios*

Los datos históricos arrojan que las leyes de Kepler contienen en semilla la Ley de Gravitación Universal y según Maiztegui & Sábato⁷ (1974,⁸ p. 257) de allí las dedujo Newton. Sin embargo los libros de Física reorganizan la información tomando la ecuación de gravitación de Newton como algo ingénito y deducen luego de ella las leyes del movimiento planetario de Kepler.

Un caso donde la ley de gravitación no es colocada como un “axioma” sino que es deducida mediante experimentos artificiales es el mencionado libro de Maiztegui & Sábato (1974). Tiene la ventaja de dar una génesis de la ley pero la misma es totalmente artificial e improbable. Los autores trabajan didácticamente con experimentos imaginarios: viajes en cohete, mediciones adentro del cohete del período de oscilación de un péndulo y suponiendo conocidos todos los datos relevantes para que de los cálculos resulte la ley de la inversa del cuadrado de las distancias. Otro tanto realizan para determinar cómo varía la aceleración de la gravedad en un planeta, satélite o estrella con la masa del mismo, viajan en el cohete y “midiendo” con el reloj y el péndulo llegan a determinar que la gravedad es proporcional a su masa. Una vez que los autores obtienen “experimentalmente” (“dibujando” los datos) la ley de Gravitación, deducen de ella las

7. Esta obra no está dirigida explícitamente a ningún nivel educativo concreto, está “a medio camino” entre la educación media y la superior. Es un excelente manual.

8. Puede sorprender lo viejo del libro, ver al respecto en *infra*: *¿Libros de texto viejos?* en Capítulo 8.

leyes de Kepler del movimiento planetario, dando a la ley de gravitación el calificativo de universal, es decir válida para el cielo y la tierra. Nos preguntamos: ¿no era más fácil y verdadero seguir la secuencia histórica partiendo de las leyes de Kepler para arribar a la ley de Newton de gravitación? La reorganización artificial tiene aquí un interés didáctico (lo mismo en Serway & Jewett, 2008, p. 367ss) pero tergiversa la naturaleza del trabajo científico: ¿cómo obtiene la aceleración de la gravedad en el astro que sea? ¿Viajando y midiéndola con un péndulo? ¿Cómo calcula los radios de los astros? ¿Cómo calcula las masas de los astros? ¿Cómo influyen los errores de medición?

Es decir, no hay un ascenso matemático lineal a la ley de gravitación ni tampoco un descenso lineal desde la “mágica” ley de la gravitación universal hacia las leyes de Kepler del movimiento de los planetas, sino al contrario, el trabajo de Kepler sobre los datos de Tycho Brahe es —junto con las ideas de Galileo a partir de los experimentos con péndulos— lo que lleva a Newton a afianzarse en su hipótesis fogoneada por la metáfora de la honda o boleadora.

La mencionada reorganización artificial la encontramos en Serway & Jewett en el capítulo donde ofrecen el estudio de la gravitación universal:

En este capítulo se estudia la ley de gravitación universal. Se enfatiza una descripción del movimiento planetario porque la información astronómica proporciona una importante prueba de la validez de esta ley. Luego se muestra que las leyes del movimiento planetario elaboradas por Johannes Kepler se siguen de la ley de gravitación universal y del principio de conservación de la cantidad de movimiento angular. Se concluye con la deducción de una expresión general para la energía potencial gravitacional y el examen de la energía del movimiento planetario y de satélites (Serway & Jewett, 2008, p. 362ss)

Es decir, los autores se esfuerzan por mostrar “la unidad de la Física” desde puntos de vista unificadores, lo cual refuerza la idea de una naturaleza que responde matemáticamente a los interrogantes del hombre de ciencia. Pero este tratamiento deja en la sombra las muchas dificultades y ambigüedades en las que tal respuesta se origina o construye. La consecuencia es preguntarnos si la unidad lo es de la naturaleza, de la física o más bien de los modelos que proponemos para dar una respuesta a nuestros interrogantes.

§. *El silencio sobre la verificación empírica*

Los libros para estudiantes de Ciencias e Ingeniería no mencionan cómo hizo Newton en *Principia* para determinar empíricamente la ley de la inversa del cuadrado de la distancia, simplemente mencionan la dificultad que tal determinación conlleva en laboratorio por lo que proponen una prueba indirecta que también presenta dificultades para verificarla (cf. Resnick, Halliday & Krane, 2001, p. 391-393) (cf. *infra*: *Otra vez la ley de la inversa del cuadrado* en Capítulo 6). La sensación es que la analogía de Huygens es tan buena que se trata por todos los medios de comprobar que la fuerza gravitatoria es análoga a una centrípeta pero lo más que puede lograrse honestamente es decir que se trata de una buena aproximación.

Capítulo 6

LA METÁFORA COMO INTELIGENCIA NATURAL CIENTÍFICA Y SU REVESTIMIENTO MATEMÁTICO DESDE EL S XVIII HASTA LA SÍNTESIS ELECTROMAGNÉTICA DE MAXWELL

No podemos reprochar a una mera analogía que cojee en algunos aspectos [...] finalmente la filosofía generalizó las ideas de Maxwell hasta fundar una doctrina según la cual el conocimiento mismo no es otra cosa que el hallazgo de analogías. Con esto los métodos científicos fueron definidos de nuevo y la Ciencia habló nada más que mediante comparaciones.

Ludwig Boltzmann, “Escritos de mecánica y termodinámica”.

XX. CAMINO METAFÓRICO A LA LEY DE COULOMB

§. *La analogía entre la gravitación y la electrostática*

Los libros de texto para estudiantes de ciencias e ingeniería construyen el edificio temático del electromagnetismo colocando un cimiento muy básico que es el concepto de “carga eléctrica”, esto es, un fenómeno que se hace presente en la materia bajo ciertas condiciones, por ejemplo: mediante frotamiento de distintos materiales. Maiztegui & Sábato refieren el descubrimiento de esta propiedad hecho por Tales (639 a.C. - 548 a.C.) “quien descubrió que al frotar una barra de ámbar [ámbar se pronuncia en griego: *elektron*] con un paño o un trozo de piel, la barra adquiría la notable propiedad de atraer pequeños objetos, muy livianos, como barbas de pluma o cabellos” (Maiztegui & Sábato, 1972, p. 188).

Tanto Halliday & Resnick (1977, p. 955) como Alonso & Finn (1976, p. 457) como Serway & Jewett (2009, p. 642-643) entre otros autores de libros de Física para estudiantes de ciencias e ingeniería, arrancan la sección sobre electricidad refiriendo el fenómeno recién mencionado: si se frota vidrio o ebonita con un paño de seda se observa que el primero adquiere una propiedad que se manifiesta en el poder de atraer pequeños trozos de papel. Otro fenómeno que normalmente se describe es que dos objetos de vidrio o ebonita frotados con seda se repelen. A los dos fenómenos anteriores se suma el hecho de que un objeto de vidrio frotado con seda y otro de ebonita frotado con seda se atraen.

Estos simples experimentos llevaron a Benjamín Franklin (1706-1790) a considerar que había dos tipos de carga o electricidad y a denominar a la electricidad o carga que aparece en el vidrio “positiva” (usualmente representada en las figuras y ecuaciones con el símbolo “+”) y a la que

aparece en la ebonita “negativa” (usualmente representada en las figuras y ecuaciones con el símbolo “-”). Así, se asoció “un signo” a la carga y podemos resumir estos experimentos diciendo que cargas del mismo signo se repelen y cargas de diferente signo se atraen (cf. Halliday & Resnick, 1977, p. 955, Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 3 y Serway & Jewett, 2009, p. 643).

§. *La metáfora de los líquidos eléctricos*

La primera explicación de este fenómeno fue la metáfora de Benjamín Franklin que imaginó que así como un líquido pasa de una botella a un vaso quedando la botella con un déficit de líquido y el vaso “cargado” con un plus de líquido, también hay un “líquido eléctrico” o “fluido eléctrico” que pasa del paño a los objetos frotados o desde éstos al paño quedando por este flujo “cargados” tanto el paño como los objetos frotados “Ahora se sabe que la sustancia transferida no es un fluido, sino pequeñas cantidades de electricidad negativa llamadas electrones” (Tippens, 2007, p. 466).

Como hay dos tipos de electricidad se pensó en un primer momento que un cuerpo que no estaba electrizado o cargado tenía igual nivel de fluidos, tanto fluido eléctrico positivo como negativo (teoría de los *dos* fluidos eléctricos, cf. Einstein & Infeld, 1974, p. 63ss), mientras que uno cargado tenía más de un fluido que del otro y que al frotar los materiales había un movimiento o volcado de fluidos de un lado para el otro que originaba el desequilibrio o desnivel originando la carga eléctrica. Siguiendo con la metáfora, así como hay una conservación de la cantidad de líquido total, lo que gana de un fluido eléctrico un cuerpo es exactamente lo que pierde de fluido el otro, por lo que ambos pueden quedar cargados. Pero hay otro problema: algunos materiales por más que sean frotados no adquieren carga. Halliday, Resnick & Krane explican este hecho utilizando sin decirlo explícitamente la metáfora señalada que queda reflejada en el lenguaje:

Si sujetamos una varilla de cobre, no podemos hacer que quede cargada, por mucho que la frotemos con material alguno [...] La explicación es que la carga puede fluir fácilmente por ciertos materiales, llamados conductores, de los cuales el cobre es un ejemplo [...] La varilla de cobre no puede ser cargada porque toda carga que coloquemos en ella fluirá fácilmente a lo largo de la varilla, a través de nuestro cuerpo (que es también un conductor), y a tierra [que es también otro conductor] (Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 3) (aclaramiento entre corchetes propia: H.M.)

Esta explicación habla de un “flujo” de carga a través de ductos o conductos o a través de “conductores”. ¡Repárese en la metáfora de base! Este hecho de la posibilidad de moverse del fluido eléctrico dentro de un conductor, permite explicar otro fenómeno: un cuerpo conductor descargado, por ejemplo de cobre, puede ser atraído por un cuerpo cargado, por ejemplo de plástico frotado con seda. Este fenómeno se explica diciendo que la carga del cuerpo cargado atrae al fluido de distinto signo o repele al fluido de igual signo, generando o induciendo cargas opuestas en las proximidades del otro objeto; como cargas opuestas se atraen el resultado será una atracción. Sería la metáfora más apropiada si el “fluido” fuera uno sólo, pues no es imaginable fácilmente que cuando una botella se vuelca en un vaso hay un líquido opuesto que sube desde el vaso a la botella, o bien, que por una cañería circulen fluidos en direcciones opuestas. Experimentos posteriores (cf. efecto Hall¹) demostraron que por los conductores se mueve un solo tipo de “fluido” el “negativo”, por lo que un cuerpo cargado negativamente tiene un exceso de este fluido y uno cargado positivamente tiene un déficit del mismo.

1. “En 1879, Edwin H. Hall llevó a cabo un experimento que permitió la medición directa del signo y la densidad del número (número por unidad de volumen) de los portadores de carga en un conductor. El efecto Hall desempeña un papel crítico en nuestra comprensión de la conducción eléctrica en los metales y semiconductores.” (Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 169).

§. Una nueva metáfora desde el racionalismo de Leibniz

Ahora bien ¿qué es este fluido o cómo está formado? Esta pregunta posee una respuesta desde el atomismo. Los “elementos” de Euclides permiten construir el edificio geométrico, los “elementos” de Newton permiten edificar la mecánica y la dinámica... Así, desde lo simple se explica la constitución de lo complejo.

Comenta Cassirer que esta concepción “atomística” de lo “complejo” —esto es, formado por unidades simples— que explica también de la variedad mediante distintas “combinaciones” de dichas unidades simples es una idea que, remontándose a los atomistas griegos, se consolida con el racionalismo de Gottfried Leibniz (1646-1716):

Esta consideración de las complexiones no sólo enriquece la geometría, sino que traza además (siempre que sea cierto que lo grande está formado siempre por lo pequeño, ya se llame esto átomo o molécula) el único camino para penetrar en los secretos de la naturaleza. Conoceremos las cosas tanto mejor cuanto mejor conozcamos sus *partes* y las *partes* de estas, su forma y su situación (Leibniz, *De arte combinatoria*, citado por Cassirer, 1993b, p. 81) (resaltado nuestro: H.M.)

Comentando este párrafo dice Cassirer: “La atomística [...] es, por así decirlo, la materialización sensible inmediata del pensamiento de que todo ser debe construirse a base de elementos ‘simples’” (Cassirer, 1993b, p. 81-82).

Se observa una unión dialéctica entre la teoría y lo “visto experimentalmente” en la naturaleza. El producto acabado es la “definición científica” de los objetos como reconstrucción racional genética de los mismos:

El criterio último de la verdad de una idea [...] no debe buscarse en su coincidencia con una cosa externa, sino exclusivamente

en la fuerza y en la capacidad del intelecto mismo. Un concepto puede ser “posible” y “verdadero” sin necesidad de que su contenido se dé nunca en la realidad externa [...] Ahora bien, para cerciorarnos plenamente de esta posibilidad y de esta riqueza interior de un concepto no tenemos más camino que el de hacerlo surgir constructivamente ante nosotros [...] Por tanto, la validez de un concepto complejo sólo se prueba cuando se lo desintegra en sus elementos “simples”, cada uno de los cuales puede ser mostrado como “construible” y, por tanto, como “posible” (Cassirer, 1993b, p. 65)

Toda esta concepción leibniziana entraña su idea del “cálculo infinitesimal”, el cual parece surgir de un traslado metafórico de una concepción atomística de la naturaleza al ámbito de los objetos matemáticos.

Volviendo a la pregunta ¿cómo está formado el fluido eléctrico? —que dio origen a este excursus por la filosofía de Leibniz— la respuesta lo concibe como formado por unidades elementales o átomos entre los cuales se ejercen fuerzas. Así el modelo del “fluido eléctrico” se completa con otro modelo que es el modelo atómico de Rutherford que surge de sus experimentos “de dispersión” (cf. Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 57) y que dieron fin al modelo atómico del “budín de pasas” de Thomson² y al modelo atómico de Newton de esferitas indestructibles.³

2. Hasta Thomson y atendiendo a que la materia en su estado “natural” era “eléctricamente neutra”, el átomo se pensaba como un “budín” compacto de “masa positiva” con “pasas” de carga negativa (que Thomson llamó “electrones”).

3. “En la época de Newton el átomo estaba modelado como una esfera diminuta, dura e indestructible. Si bien este modelo proporcionó una buena base para la teoría cinética de los gases, fue necesario diseñar nuevos modelos cuando los experimentos revelaron la naturaleza eléctrica de los átomos. En 1897, J. J. Thomson estableció la relación carga a masa para los electrones. El año siguiente propuso un modelo que describe al átomo como una región en la cual una carga positiva está dispersa en el espacio, con electrones incrustados por toda la región,

En su famoso experimento Rutherford bombardeó con partículas alfa (que son partículas positivas) una delgada lámina de oro y observó contra lo esperado que si bien muchas partículas atravesaban la lámina sin desviación (lo esperado) otras (en muy menor proporción) eran totalmente desviadas (lo inesperado), incluso “rebotaban” volviendo para atrás: esto lo llevó a *imaginar* que la carga positiva del átomo debería estar concentrada en un punto al que llamó “núcleo” mientras que la carga negativa debería estar “difuminada” alrededor,⁴ pero para que estas cargas no “caigan” sobre el núcleo —por atracción— deberían estar moviéndose en “órbitas”... Notemos otra vez la influencia de la metáfora de la honda o boleadora en este “modelo planetario del átomo” (cf. Serway & Jewett, 2009, p. 1218). Así se imaginó que todos los elementos están formados por átomos que tienen dos zonas bien diferentes: un núcleo positivo donde se concentra la masa y una zona con cargas negativas muy pequeñas en masa comparadas con el núcleo y orbitando a su alrededor a semejanza de un pequeño sistema solar.

Milikan (premio Nobel 1923) determinó que la carga está “cuantizada”, esto es, el “líquido eléctrico” negativo está formado por pequeños gránulos. Serway & Jewett refieren el hecho: “En 1909 Robert Millikan (1868-1953) descubrió que las cargas eléctricas siempre se presentan como un entero múltiplo de una cantidad básica de carga [representada mediante

en forma muy similar a las semillas dentro de una sandía o las pasas dentro de un pan. De esta forma, el átomo como entidad sería eléctricamente neutro. En 1911, Ernest Rutherford (1871-1937), junto con sus estudiantes Hans Geiger y Ernest Marsden, realizó un experimento que demostró que el modelo de Thomson podría no ser correcto.” (Serway & Jewett, 2009, p. 1218).

4. Halliday, Resnick & Krane concluyen con Rutherford: “El átomo es en su mayoría espacio vacío, [ya que] existe solo una probabilidad muy pequeña de que un proyectil llegue lo suficientemente cerca de un núcleo, como para experimentar un campo eléctrico lo suficientemente grande para causar una desviación.” (Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 58).

la letra] e.” (Serway & Jewett, 2009, p. 643, aclaración entre corchetes propia: H.M.). También refieren el descubrimiento del electrón (nombrado así en recuerdo del ámbar de Tales) a través del experimento de Thomson de 1897 en el que estableció la relación entre la carga y la masa del mismo: “El resultado de este experimento crucial representa el descubrimiento del electrón como una partícula fundamental de la naturaleza.” (Serway & Jewett, 2009, p. 817).

Estos pequeños gránulos de carga negativa llamados *electrones* veremos que son fruto de una metáfora sustancializadora, que los entiende como “partículas”. Posteriores hechos determinaron que en algunas ocasiones no se comporta como partícula sino como una onda (cf. Halliday & Resnick, 1977, p. 1645ss; Christy & Pytte, 1971, p. 353ss).

A través de todos estos modelos de base metafórica (fluido, conductos, gránulos cargados) se fue arribando a la explicación de ese hecho misterioso de la atracción entre materiales cargados y materiales descargados, fenómeno llamado “inducción” eléctrica. Podemos explicarlo en base a la metáfora del fluido eléctrico negativo: al acercar un cuerpo cargado negativamente (podría explicarse análogamente suponiendo carga positiva) a otro descargado, se *inducen* cargas positivas superficiales en el cuerpo descargado. Esta inducción consiste en que la carga negativa del cuerpo cargado repele las cargas negativas de dicha superficie, quedando una vacancia de cargas negativas que equivale a carga positiva superficial (este cuerpo descargado sigue estando descargado, pero la inducción consiste en una redistribución de las cargas negativas, que se alejan por repulsión ante la proximidad de la carga negativa del cuerpo cargado). Quizás has experimentado —estimado lector o lectora— este fenómeno al frotar un bolígrafo de plástico con lana o con tu ropa y ver como entonces atrae pequeños trozos de papel:

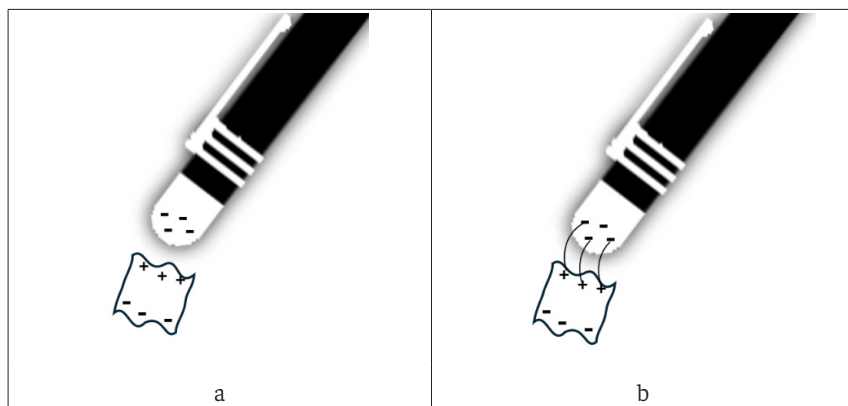


Figura N° 19: Fenómeno de la inducción eléctrica.

a. Un cuerpo cargado negativamente se acerca a un pequeño trozo de papel con carga total cero, pero éste último tiene partículas cargadas que pueden reorientarse parcialmente, quedando en el papel una zona con un déficit de carga negativa, es decir un “borde” positivo que es atraído por el cuerpo cargado; b. Explicación mediante el modelo de fibras elásticas de Faraday (elaboración propia: H.M)

Según Halliday y Resnick la fuerza de atracción entre cargas de igual signo fue medida por Charles Coulomb (1736-1806), el cual determinó con una balanza de torsión que dicha fuerza variaba en forma inversa al cuadrado de la distancia d que separaba las cargas (cf. Halliday & Resnick, 1977, p. 957), esto es:

$$F \propto \frac{1}{d^2}$$

Además Coulomb determinó cómo variaba la fuerza con el “tamaño” de las cargas: era —según los libros de Física— proporcional al producto de las cargas, simbolizadas por q_1 y q_2 , por lo que incluyendo este resultado en la ecuación anterior resulta:

$$F \propto \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

Aclaran los autores que la proporcionalidad vale cuando las cargas son “puntuales”, es decir de dimensiones muy pequeñas. Su parecido

con la ley de la gravitación universal ($F \propto \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$, cf. *supra*: *¿Figura en Principia la Ley de gravitación?* en Capítulo 5) quizás sea el motivo por el que Maxwell habla de “dos opuestas clases de materia [refiriéndose a los dos tipos de cargas eléctricas]” (Maxwell, 1890a, p. 175) y simboliza a una carga eléctrica puntual como “ dm ” (cf. *infra* Anexo 5) y Alonso & Finn llaman a la cantidad de carga eléctrica “*masa eléctrica*”:

Del mismo modo que caracterizamos la intensidad de la interacción gravitacional asignando a cada cuerpo una masa gravitacional, caracterizamos el estado de electrización de un cuerpo definiendo una *masa eléctrica*, más comúnmente llamada carga eléctrica, representada por el símbolo q . Así cualquier porción de materia, o cualquier partícula, está caracterizada por dos propiedades independientes fundamentales: masa y carga. (Alonso & Finn, 1976, p. 458) (resaltado propio: H.M.)

Respecto de la simetría entre las leyes de gravitación y de Coulomb, Acevedo Díaz dice que la teoría de la electricidad se construyó sobre la de la gravitación:

[...] hacia finales del siglo XVIII se disponía ya de una teoría de la electricidad construida de acuerdo con el modelo de la teoría newtoniana [ley de la Gravitación Universal], que establecía la universalidad de la atracción que los cuerpos se ejercen mutuamente a través del espacio de manera instantánea, sin necesidad de ningún medio material y siguiendo una ley inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (Acevedo Díaz, 2004, p. 191) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Lo dicho abona la entrada de la analogía o del esquema teórico o metafórico antes de las observaciones, que serán guiadas por dicho esquema, es lo que seguiremos viendo a continuación.

§. Otra vez la ley de la inversa del cuadrado

Según Serway & Jewett (2009, p. 645-646) el exponente de d en la ley de Coulomb es con seguridad un 2. Para ello detallan el experimento empleado por Coulomb:

Charles Coulomb (1736-1806) midió las magnitudes de las fuerzas eléctricas entre objetos con carga; para hacerlo usó la balanza de torsión, que él mismo inventó. El principio de operación de la balanza de torsión es el mismo que el del aparato usado por Cavendish para medir la constante de la gravedad [...] con esferas eléctricamente neutras reemplazadas por esferas con carga. La fuerza eléctrica entre las esferas [...] provoca que se atraigan o se repelan, y el movimiento resultante provoca que la fibra suspendida se tuerza [...] el momento de torsión [...] es proporcional al ángulo de rotación de la fibra, una lectura de este ángulo da una medida cuantitativa de la fuerza eléctrica de atracción o de repulsión. Una vez cargadas las esferas por frotación, la fuerza eléctrica entre ambas se vuelve muy grande en comparación con la atracción de la gravedad y, por lo tanto, esta última fuerza se puede ignorar [...] Debido a observaciones experimentales es posible encontrar la magnitud de una fuerza eléctrica [...] entre dos cargas puntuales establecidas por la ley de Coulomb: $F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$ donde k es una constante [...] En sus experimentos, Coulomb demostró que el valor del exponente de d era 2, con una incertidumbre de unos cuantos puntos porcentuales (Serway & Jewett, 2009, p. 645-646)

Pero Halliday y Resnick (en la edición 1977 de su conocido libro, es decir 32 años antes que la edición del libro de Serway & Jewett) no están tan seguros de que el exponente de la ley de Coulomb sea exactamente un 2 (repárese en la profundidad del cuestionamiento, cf. *infra*: ¡Un libro que se anima a no confundir mapa con

territorio!). La simplicidad de ese exponente 2 es más proveniente de un deseo que de una medición, los autores mencionados se sinceran brutalmente: “Nuestra creencia en la ley de Coulomb no descansa cuantitativamente en los experimentos del mismo” (Halliday & Resnick, 1977, p. 959). Se mantiene la sentencia en la edición Halliday, Resnick & Krane (1999, p. 5).

Esta última es una declaración que marca el salto del mundo real al mundo matemático; hay una “creencia” que “no descansa cuantitativamente en los experimentos”, por lo que habría que decir: “para todos los efectos prácticos puede considerarse que el exponente *de ese modelo matemático* es 2 pero desconocemos cuánto vale en realidad”, esto es el modelo, no es la realidad o —usando una metáfora— “el mapa no es el territorio” (Korzybski, 1951 y Bateson, 1991, p. 133 y 306). Los autores —a renglón seguido— aclaran el sentido de su afirmación:

Las medidas con la balanza de torsión son difíciles de hacer con una precisión de unos cuantos centésimos. Esas medidas no podrían convencernos, por ejemplo, de que el exponente de la ecuación fuera exactamente 2 y que no fuera, por ejemplo: 2,01 (Halliday & Resnick, 1977, p. 959)

Los autores dicen “Las medidas no podrían convencernos” ¿Quién nos convence entonces? Nuestro deseo de simplicidad, simetría o bien nuestra peregrinación por el mundo ideal matemático. Halliday y Resnick refieren que el exponente de la ecuación puede deducirse que es 2 en “forma indirecta” haciendo una analogía con la ley de gravitación universal (cf. Halliday & Resnick, 1977, p. 959 y 1009-1012). Si la dependencia de la fuerza entre partículas masivas (Newton) o entre partículas cargadas (Coulomb) se da con la inversa de la distancia que las separa al cuadrado, las acciones sobre una partícula dentro de una delgada cáscara esférica —masiva o cargada uniformemente— se anulan. Fácilmente esto se demuestra mediante cálculo diferencial e integral.

§. *Priestley: traslado desde la gravedad a la electrostática*

Benjamin Franklin en 1755 observó —sin poderle dar al fenómeno una explicación— que dentro de un recipiente conductor hueco cargado eléctricamente los efectos de fuerzas eléctricas sobre un cuerpo introducido en su interior (una esferita de corcho suspendida por un hilo de seda), son nulos. Aproximadamente 10 años después Franklin recomendó este hecho singular a la atención de su amigo: el sacerdote Joseph Priestley (1733-1804). En 1767 —es decir 20 años antes de los experimentos de Coulomb— Priestley se dio cuenta con notable perspicacia que del fenómeno anotado por Franklin se deducía la ley de la inversa de los cuadrados de la distancia de la que dependería la fuerza eléctrica (cf. Halliday & Resnick, 1977, p. 1011).

¿Cómo lo hizo? La ley de gravitación es trasladada metafóricamente al ámbito de la electrostática, Priestley advirtió la analogía con la acción de fuerzas gravitatorias nulas en el interior de un cuerpo hueco con una cáscara masiva, lo cual sólo sucede si vale para las fuerzas la ley de la inversa con el cuadrado de la distancia (Priestley, 1767).

Así, este traslado metafórico de Priestley hipotetiza sobre la ley con la que disminuye la fuerza eléctrica al alejarnos o acercarnos a la carga: con la inversa del cuadrado de la distancia. Halliday y Resnick recuperan el traslado metafórico:

Priestley, razonando por analogía con la gravitación, dijo que el hecho de que no actuase ninguna fuerza sobre la bola de corcho de Franklin cuando estaba rodeada por un depósito metálico profundo [cargado eléctricamente] es similar al hecho de que no obra ninguna fuerza gravitacional en una masa colocada dentro de un cascarón esférico de materia; si la gravitación obedece a una ley del inverso de los cuadrados, quizá la fuerza eléctrica obedezca a una ley semejante. Citando las palabras de

Priestley: “¿No debemos, acaso, inferir de esto que la atracción de la electricidad está sujeta a las mismas leyes que las de la gravitación y se ajusta, por consiguiente a los cuadrados de las distancias; ya que fácilmente se demuestra que si la Tierra tuviera forma de un cascarón [fuera una esfera hueca], ¿un cuerpo en su interior no sería atraído hacia un lado más que hacia otro?” (Halliday & Resnick, 1977, p. 1011) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Obsérvese como el conocimiento sobre un tema (la gravitación) ayuda a comprender otro (la electrostática), en otras palabras la matematización desde un dominio fuente (fuerza gravitatoria dependiente de la inversa del cuadrado de la distancia) se traslada hacia el dominio meta (fuerza eléctrica dependiente de la inversa del cuadrado de la distancia).

Debemos advertir que la demostración matemática anunciada —mediante cálculo diferencial e integral— se realiza matematizando o “platonizando” toda la situación: poniendo en cursiva las idealizaciones debemos imaginar una *esfera perfecta*, hueca, de *espesor despreciable o cero*, de densidad superficial de masa *constante* y situando imaginariamente en un punto interior cualquiera de dicha esfera una masa *puntual* (dimensión *cero*). Con estas condiciones, si luego calculamos los efectos gravitatorios sobre la misma utilizando la ecuación de la gravitación universal —que depende de la inversa del cuadrado de la distancia— comprobaremos matemáticamente que la acción gravitatoria neta sobre la partícula es cero (cf. Resnick & Halliday, 1966, p. 450-451; Resnick, Halliday y Krane, 2001, p. 391-392). Es decir, el periplo por el mundo matemático nos lleva a la verificación de que un exponente 2 hace cero el cálculo, pero no nos asegura nada respecto de la realidad, esto es que el exponente sea *exactamente* 2. Esto que es obvio no se aclara lo suficiente.

La jaula de Faraday

En el ámbito eléctrico Michael Faraday realizó una prueba experimental más rigurosa, tratando de ver si existían acciones eléctricas dentro de un recipiente hueco cargado. Para esto construyó una gran caja cubierta de metal, a la cual montó sobre bases aislantes, cargándola con un poderoso generador electrostático. En las palabras de Faraday:

Me introduje dentro del cubo y me instalé en él, y usando velas encendidas, electrómetros, y otros test de estados de electrificación, no pude hallar la menor influencia sobre ellos [...] a pesar de que todo el tiempo el exterior del cubo estaba poderosamente cargado, y que estaban saliendo chispas y descargas dispersas de todos los puntos de su superficie exterior (Faraday, 1839, p. 366)

Este experimento conocido como “la jaula de Faraday” ayuda a creer que el exponente de la ecuación de Coulomb es un **2**, pero ni Faraday ni nadie puede medir con precisión infinita la ausencia total de acciones eléctricas (campo eléctrico nulo); podemos aseverar que el *modelo matemático* es bueno pero no que la realidad tiene “ese **2**” ínsito en su *natura*. Notemos el proceso metafórico que ha llevado a producir un **2** como exponente de la distancia.⁵

5. Halliday & Resnick (1977, p. 1011) refieren que el hecho de acciones eléctricas nulas en el interior de un conductor hueco cargado está íntimamente relacionado con el fenómeno de distribución superficial de la carga en un conductor cargado. Esta distribución es tal que la acción eléctrica o fuerza eléctrica en un punto interior resulta nula y esto sólo es matemáticamente posible si la fuerza varía con el cuadrado inverso de la distancia (cf. Resnick & Halliday, 1966, p. 450-451; Resnick, Halliday y Krane, 2001, p. 391-392 para el caso de una esfera hueca). En el experimento referido de Franklin, otro de los fenómenos que quedaba sin explicación era por qué razón si la esferita de corcho tocaba la pared interna del recipiente o su fondo no adquiría carga, cosa que sucedía si tocaba la pared externa. La explicación era el hecho de que toda carga en un conductor tiende a hacerse superficial. Así, debido a esto la esfera no experimentaba contacto alguno con carga.

¡Un libro que se anima a no confundir mapa con territorio!

Debido a lo dicho, en la nueva edición de Halliday, Resnick & Krane (1999) los autores se “animan” a introducir en la fórmula de Coulomb una cantidad pequeña δ sumada al exponente 2 (cf. p. 54):

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^{2+\delta}}$$

Como lo advirtieron respecto de la constante G para la gravitación (cf. *infra*: La imprecisa constante G^6 en el Capítulo 7), los autores refieren que la determinación de la ley del cuadrado de la inversa de la distancia en la Ley de Coulomb es fundamental pues si δ en la ecuación anterior no es cero, “ello tendrá serias consecuencias para la comprensión del electromagnetismo y de la física cuántica” (Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 55).⁷ Reconocen, sin embargo, que si δ no fuese cero debería ser “muy pero muy pequeño” (p. 56).

Siendo estas ecuaciones (ley de gravitación, ley de Coulomb) como los ladrillos básicos de otras construcciones es entendible que esas construcciones dependan de ellas y que se haga la afirmación sobre las “serias consecuencias” que tendría que no se cumpla que ese exponente sea un 2. ¿No resulta notable y epistemológicamente curioso

6. Lamentando que no haya podido ser determinada en su valor y naturaleza con la precisión deseada debido a su influencia esencial en las teorías sobre el origen y estructura de universo.

7. “La ley de Coulomb es de importancia crucial en física, y si δ en la ecuación anterior no es cero, ello tendrá serias consecuencias para la comprensión del electromagnetismo y de la física cuántica. La mejor manera de medir δ es averiguar experimentalmente si una carga en exceso, colocada sobre un conductor aislado, se mueve o no por completo a su superficie exterior [análogo a la demostración indirecta de la dependencia del cuadrado de la inversa de la distancia para la fuerza gravitatoria]. Los experimentos modernos, realizados con notable precisión, han demostrado que si δ en la ecuación anterior no es cero es ciertamente muy, pero muy pequeño” (Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 55-56, aclaración entre corchetes propia: H.M.).

que la ley dependa de la simplicidad de un 2? ¿No resulta notable y epistemológicamente curioso que las leyes presenten tal simetría?

§. *De la gravitación a la ley de Coulomb para el magnetismo*

Según algunos autores como Maiztegui & Sábato hay ley semejante a la de la gravitación y a la de Coulomb para las “masas” magnéticas, también llamada “Ley de Coulomb” (Maiztegui & Sábato, 1974, p. 320-321). Los autores generan datos y experiencias para que el alumno se convenza de que la fuerza ahora magnética varía de forma inversa al cuadrado de la distancia y en forma proporcional al producto de las masas magnéticas,⁸ es decir, unidos los “resultados” en una sola ecuación:

$$F \propto \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Donde m_1 y m_2 —como lo han expresado los autores— se denominan “masas” magnéticas.⁹ Según los cálculos de Newton el

8. “Si acercamos un imán a una aguja, por ejemplo, sólo la levanta si está a cierta distancia de la misma. La balanza magnética permite saber cómo varía la fuerza con la distancia; con ella se comprueba que si a una distancia de 18 cm entre polos, por ejemplo, la fuerza es de 12g, a distancia doble (36cm), la fuerza vale sólo 3g (la cuarta parte); si la distancia se hace triple (54cm), la fuerza se reduce a la novena parte 1,33 g, etc. Es decir: La fuerza de atracción o de repulsión entre dos polos magnéticos es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Pero no sólo la distancia influye en el valor de la fuerza magnética. Sabemos que hay imanes más o menos intensos. Para expresar la diferente intensidad de los polos magnéticos se supone que en cada polo está concentrada cierta cantidad de magnetismo, cantidad a la que se llama masa magnética. La balanza también enseña que la fuerza de atracción entre dos masas magnéticas m_1 y m_2 es directamente proporcional al producto de dichas masas.” (Maiztegui & Sábato, 1974, p. 320-321).

9. Otros autores como Alonso & Finn en el ámbito de la interacción entre polos magnéticos dicen que podría definirse una “carga” o “masa magnética” y establecer la dependencia con la distancia entre las mismas, cosa que es “perfectamente posible y de hecho antes de que los físicos comprendieran mejor la naturaleza

exponente de d era cercano a 3, dice en el Libro III, Proposición VI, Teorema VI, Corolario V:

El poder de la gravedad es de naturaleza diferente a la del poder magnético, pues la atracción magnética no es como la materia atraída. Algunos cuerpos son más atraídos por el imán, otros menos, la mayor parte de los cuerpos en absoluto. El poder magnético sobre un cuerpo puede aumentar y disminuir, y es a veces mucho más fuerte, en relación con la cantidad de materia que el poder de la gravedad, y al apartarse el cuerpo del imán no decrece como el cuadrado, sino casi como el cubo de la distancia, como he podido comprobar aproximadamente mediante toscas observaciones (Newton, 1982, p. 480)

Resulta interesante que la desconcentración de Newton sobre el tema de la fuerza magnética lo haya llevado nada más que a realizar “toscas observaciones” y a contentarse con un exponente cercano a 3.

XXI. METÁFORAS DE THOMSON, FOURIER Y OHM

§. *Thomson: de la gravedad a la temperatura*

William Thomson (Lord Kelvin, 1824-1907) influenciado por la dilución de la fuerza de gravedad con la inversa del cuadrado de la distancia que hemos visto en el Capítulo 3, establece una analogía entre el calor y la atracción a distancia. Aquí hay un “vacío hermenéutico” que es llenado metafóricamente. Así como la luz, el sonido o la gravedad disminuyen o se diluyen con el cuadrado de la distancia al alejarse del foco, de la fuente de sonido o de la masa, así también la temperatura en torno a una fuente puntual de calor disminuye o se diluye con la inversa del cuadrado de la distancia.

Esta metáfora de Thomson llena el vacío hermenéutico sobre la ley de disminución de la temperatura desde una fuente puntual de calor (dominio meta) a partir de la dilución de la gravitación (dominio fuente). Observamos aquí que lo que fue dominio meta en un ámbito (gravitación) se transforma en dominio fuente de otro (fenómenos térmicos).

Esta metáfora de Thomson es referenciada y tomada luego por Maxwell en sus *papers* (cf. Maxwell, 1890a, p. 156-157). Esto indica la fecundidad de los traslados y la eficacia de los llenados del vacío hermenéutico por el mecanismo.

§. *Matematización de Fourier sobre el fluido calórico*

Los fenómenos de conducción del calor fueron analizados por Joseph Fourier (1768-1830) imaginando modelos que intentan describir lo que pasa entre un punto y otro muy cercano de un conductor que “transporta” calor como si de un líquido se tratara (Fourier,

1822). Es decir, en base a una metáfora semejante a la de los tubos de fuerza que “transportan” —en este caso— al “fluido calórico” y que parten desde una fuente caliente, Fourier realiza un análisis pionero que inspira —por traslado metafórico— la modelización matemática de toda una serie de fenómenos catalogados bajo la etiqueta “de transporte”.

La imagen de Fourier es utilizada y referida por Thomson (1872) en el avance de sus estudios de electrostática y magnetismo. Si bien superada por consideraciones energéticas, la metáfora de un líquido que fluye permite captar visualmente temas de calorimetría de un modo cualitativo:¹⁰

- la diferencia entre *calor* (cantidad de líquido aportado o quitado) y *temperatura* (nivel de líquido) (Einstein & Infeld, 1974),
- captar el concepto de *equilibrio térmico* mediante la analogía de vasos comunicantes (Hewitt, 2007) y también,
- visualizar el concepto de *capacidad calorífica* de un material (Einstein & Infeld, 1974), desde la analogía de un *recipiente* (el material se ve como un recipiente con un determinado volumen o capacidad) que recibe el *líquido* (calor) y aumenta su *nivel* de llenado (temperatura). Así, un material de *alta capacidad calorífica*, puede recibir *mucho calor* elevando muy *poco su temperatura*.

§. Metáfora de Ohm sobre la metáfora de Fourier

Esta Metáfora permitió el estudio de la conducción eléctrica (dominio meta) a partir de la conducción térmica estudiada por Fourier (dominio fuente). Ante el vacío de explicación satisfactoria de los fenómenos eléctricos, Georg Simon Ohm (1789-1854) realizó este traslado metafórico: pensó que la electricidad podría comportarse

10. Después vendrá el revestimiento matemático de las imágenes metafóricas, revestimiento que separado de la metáfora, en sí mismo dice poco.

del mismo modo que el calor, jugando la diferencia de potencial un papel análogo a la diferencia de temperatura de Fourier.

Esto le permitió encontrar un modelo matemático formalmente idéntico para la conducción galvánica: “La forma y el tratamiento de las ecuaciones diferenciales así obtenidas son los del movimiento térmico de Fourier y Poisson” (Ohm, 1827, p. 5, traducción propia: H.M.).

Notemos cómo opera una analogía entre los flujos calóricos (Metáfora de Fourier) y eléctricos (Metáfora de Ohm), que se traduce en un esquema matemático común (que también será análogo al esquema matemático de los flujos hídricos en la metáfora de Maxwell, cf. punto siguiente).

XXII. METÁFORAS DE FARADAY Y MAXWELL

En el Capítulo 1 (cf. *supra*: *Metáforas vivas y muertas en ciencia: ejemplos*) hemos visto el surgimiento de metáforas vivas en los albores del electromagnetismo. Allí observamos como Faraday frente al hecho intrigante de la formación de líneas constituidas por limaduras de hierro en torno a un imán (Figura N° 2d en el mencionado capítulo) produjo un traslado metafórico que les dio una fisonomía de hilos elásticos o “líneas de fuerza” (cf. Faraday, 1855, p. 397-399 y *Las fibras elásticas de Faraday* en el mencionado capítulo).

Un experimento complementario con una aguja magnética le permitió obtener una concepción tridimensional en la que cada línea parecía “emerger” del polo norte magnético del imán y “sumergirse” en el polo sur magnético (cf. Faraday, 1855, p. 328) (cf. Figura N° 4b en Capítulo 1). La metáfora sustancializadora de estas líneas permitía comprender visualmente los fenómenos de atracción y repulsión entre polos de imanes (cf. Figura N° 5 del Capítulo 1). Esta concepción elástica de las líneas le permitió hipotetizar sobre los fenómenos que se metaforizan mediante olas u ondas —como el de la luz— imaginándolos como vibraciones de esas mismas líneas.¹¹ Faraday analizó también estas líneas en el caso de los cuerpos cargados eléctricamente, a las que llamó “líneas de fuerza eléctricas” (Faraday, 1855; cf. Figura N° 7 del Capítulo 1).

11. Vimos en el Capítulo 1 que en 1845 Faraday había demostrado una interacción entre la luz y el campo magnético (cf. Faraday, 1855, p. 1ss), fenómeno que le resultaba muy sugerente desde su metáfora de las líneas de fuerza “elásticas”. Se preguntaba “si no era posible que las vibraciones que en cierta teoría se supone que explican la radiación y los fenómenos radiantes no pudieran ocurrir en las líneas de fuerza que conectan las partículas [...] una noción que, en la medida en que se admite, prescindirá del éter, que, desde otro punto de vista, se supone que es el medio en el que tienen lugar estas vibraciones.” (Faraday, 1855, p. 447, traducción propia: H.M.).

Posteriormente Maxwell estudia estas líneas de fuerza de Faraday produciendo sobre ellas un nuevo traslado metafórico con su metáfora hídrica (cf. *supra*: *Metáfora de los flujos de agua de Maxwell* en el Capítulo 1), imaginándolas como líneas de corriente de un líquido que, en el caso de la electrostática, emergen de la carga positiva que se comporta como una fuente del líquido y culminan en la carga negativa que se comporta como un sumidero del líquido.

Estudiando, entonces, en función de las ecuaciones o modelos ya adquiridos en el ámbito de la hidrodinámica (Maxwell, 1890a, p. 175-177), podían sacarse conclusiones en el ámbito de los fenómenos magnéticos y eléctricos (p. 177-178). Así, la metáfora hídrica motorizó¹² la matematización del dominio meta eléctrico-magnético en base a las ecuaciones conocidas en el dominio fuente, todo un proceso que culmina felizmente en las 4 ecuaciones de Maxwell. En el Esquema N° 6 del Capítulo 1, intentamos mostrar como las metáforas sustancializadoras y estructuradoras de nuestro *organismo conceptual metafórico* (cf. *supra*: Esquema N° 5 del mismo capítulo) funcionan conceptualmente para ascender de los hechos enigmáticos a su intelección y matematización.

§. *Metáfora de Maxwell desde la metáfora de Thomson*

Hemos referido la metáfora hídrica de Maxwell desde el análisis de las líneas de fuerza de Faraday. Como en el caso de Newton, normalmente hay un sistema de metáforas que permiten hipotetizar sobre los fenómenos que hacen “vacío hermenéutico”. Hay que agregar entonces, que Maxwell logró una importante inteligencia sobre los *campos* eléctricos (dominio meta) a partir de la metáfora de Thomson sobre la temperatura (dominio fuente) recién referida. Thomson había llegado a una formulación matemática que hacía

12. Entendemos —en el marco de esta investigación— que el sujeto de esta motorización es lo que hemos denominado “la vida operante” (cf. *supra*: *Horizontes del mundo y de la vida operante* en el capítulo 2).

pie en un traslado desde la gravitación como vimos, resultando una matematización similar entre los fenómenos dispares.

Maxwell entiende que a partir de una analogía matemática entre fenómenos de dos ámbitos distintos es posible pensar uno de ellos desde el otro, produciéndose una simbiosis fructífera para avanzar en la comprensión de la naturaleza. Primeramente, Maxwell se refiere a la solidez de lo conquistado en el dominio de la gravitación:

Todos nosotros hemos adquirido la concepción matemática de estas atracciones [se refiere a la ley de atracción universal gravitatoria]. Podemos razonar acerca de ellas y podemos determinar sus fórmulas o formas apropiadas. Estas fórmulas tienen un significado matemático bien definido, y sus resultados son conformes con los fenómenos naturales. No hay fórmula en matemáticas aplicadas más consistente con la naturaleza que la fórmula de las atracciones, y ninguna teoría mejor establecida en las mentes de hombres que la de la acción a distancia entre cuerpos. (Maxwell, 1890a, p. 156) (traducción y aclaración entre corchetes propios: H.M.)

Luego, Maxwell señala cómo el dominio fuente de la gravitación le permite —a pesar de las diferencias entre un ámbito y otro—, pensar la conducción térmica:

La ley de la conducción del calor en medios uniformes se presenta a primera vista como entre las más diferentes por sus relaciones físicas respecto de las de atracciones. Las cantidades que entran en ellas son temperatura, flujo de calor, conductividad. La palabra fuerza es extraña para el tema [o extranjera]. Sin embargo nos encontramos con que las leyes matemáticas del movimiento uniforme de calor en medios homogéneos son de igual tenor en forma que las correspondientes a atracciones variando inversamente como el cuadrado de la distancia.

(Maxwell, 1890a, p. 156) (traducción, aclaración entre corchetes y subrayados propios: H.M.)

Finalmente, Maxwell señala como “la visión de dos en uno” (en nuestros términos) lo lleva a mapear correspondencias entre el dominio fuente y el dominio meta:

Tenemos sólo que substituir fuente de calor por centro de atracción, flujo de calor por aceleración de algún punto y temperatura por potencial, y la solución de un problema de atracciones se transforma en un problema de calor. Esta analogía entre las fórmulas de calor y atracción fue, creo, por primera vez señalada por el Profesor William Thomson en el *Cambridge Mathematics Journal*, Vol. III. Ahora la conducción de calor se supone que procede por una acción entre partes contiguas de un medio, mientras la fuerza de atracción es una relación entre cuerpos distantes y, sin embargo, si no supiéramos nada más que lo expresado en las fórmulas matemáticas, no habría nada que distinguir entre un set de fenómenos y el otro. Es cierto, que si introducimos otras consideraciones y observamos hechos adicionales, los dos sujetos asumirán muy diferentes aspectos, pero el parecido matemático de una parte de sus leyes permanece, y todavía puede ser utilizado en estimular ideas matemáticas apropiadas. (Maxwell, 1890a, p. 157) (traducción, aclaraciones entre corchetes y subrayados propios: H.M.)

§. El paso de Maxwell a la metáfora hídrica

Como observamos en la cita anterior, Maxwell fue discípulo de Thomson en el tema de la analogía, que como hemos dicho es el producto del proceso de metaforización. Pasa a la metáfora hídrica razonando del siguiente modo: imagina que si la fuente de calor de Thomson fuera una fuente de un líquido, las superficies de igual

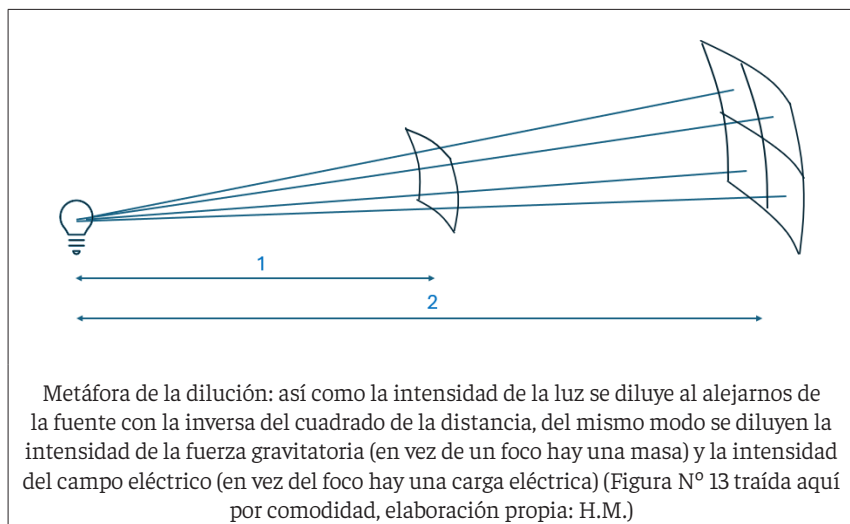
temperatura podrían equipararse a superficies de igual presión del líquido, notemos como ya empieza a delinearse una matemática en el dominio meta a partir de la matemática conocida en el dominio fuente (para la matematización de esta metáfora ver *infra*: Anexo 5).

§. *La metáfora hídrica en el flujo de un campo eléctrico*

Las líneas de fuerza de Faraday de campo magnético o eléctrico son asociadas a las líneas de corriente de un líquido por Maxwell (cf. Maxwell, 1890a, p. 155-229) y son propicias para definir —siguiendo la analogía con los líquidos— lo que se denomina “flujo del campo”, así como un líquido fluye a través de determinada superficie (por ejemplo la sección transversal de un caño) y sus líneas de corriente presentan asociadas en cada uno de sus puntos una velocidad (cf. *supra*: Esquema N° 6 en el Capítulo 1 y Figuras N° 14, 15 y 16 en Capítulo 5) es posible calcular su flujo a través de dicha superficie el cual dará como resultado el caudal volumétrico de dicho líquido (volumen de líquido que fluye a través de la superficie considerada en la unidad de tiempo). La analogía se traslada al campo eléctrico y es posible entonces definir el “flujo” del mismo como si de un fluido se tratase. Una ley muy conocida para el flujo del campo eléctrico es la de Gauss que veremos a continuación.

Caso de la Ley de Gauss y su base metafórica

La ley de Gauss referida al flujo de un campo eléctrico tiene una base geométrica que está relacionada con la analogía del aerosol y la pintura propuesta en el libro de Física de Hewitt (2007, p. 165) y que nosotros complementamos con una metáfora análoga, la de la dilución de la luz (cf. *supra*: *Matematización desde la metáfora de la dilución* en el Capítulo 5). Traemos —para facilitar la lectura— la Figura N° 13: *Dilución de la luz con la inversa del cuadrado de la distancia*:



En la figura se observa que la luz —por razones geométricas y de simetría— se “diluye” o atenúa o pierde intensidad con la inversa del cuadrado de la distancia. Así la intensidad de la luz es cuatro veces más tenue al doble de la distancia.¹³

Decíamos (cf. *supra*: *Matematización desde la metáfora de la dilución* en el Capítulo 5) que parece que fue Kepler el que imaginó esta situación geométrica y física: la intensidad o la influencia de un foco de luz o de una fuente de sonido, disminuye a medida que nos alejamos de ellos según la inversa del cuadrado de la distancia, puesto que dicha iluminación o sonido se reparte en la superficie de una cáscara esférica imaginaria que se agranda en función del cuadrado de su radio (radio que coincide con la distancia al foco o fuente mencionados). Hewitt toma la analogía y dice que una capa

13. Siguiendo el razonamiento, a una distancia de 3 unidades medida desde la fuente de luz, la superficie imaginaria es 9 veces la obtenida a una unidad de distancia por lo que la intensidad de la luz sobre la superficie imaginaria será 9 veces menor; del mismo modo a 4 unidades de distancia la superficie es 16 veces la obtenida a una unidad de distancia por lo que la intensidad de la luz será 16 veces menor.

de pintura que es arrojada por un aerosol se hará más fina según la inversa del cuadrado de la distancia y que también por analogía la fuerza gravitatoria producida por una masa puntual se “diluirá” según la ley de la inversa del cuadrado de la distancia (cf. Hewitt, 2007, p. 165).

Si tuviésemos que imaginar el pensamiento de Gauss diríamos que aplica lo recién dicho al campo eléctrico, siendo el foco o fuente una carga eléctrica puntual. En los ejemplos anteriores lo que llega a la superficie imaginaria multiplicado por la superficie nos da lo que salió del foco (sea luz o pintura). Es decir, lo que se mantiene constante es lo que sale del foco o fuente (la cantidad de luz o pintura) y esto es igual al “flujo” (simbolizado con ϕ) sobre la superficie, es decir, lo que llega de pintura a cada sector de la superficie multiplicado por la superficie...

Para completar la analogía habría que decir que no es lo mismo que haya aire a presión atmosférica, vacío o aire a alta presión rodeando al aerosol... esto ciertamente facilitará o no la cantidad de pintura que salga del recipiente... La ley de Gauss para el campo eléctrico (simbolizado con $\mathbf{E}$) dice que lo que se mantiene constante al calcular el flujo del campo eléctrico sobre una superficie cerrada es proporcional a la carga interior a esa superficie $\left(\frac{q}{\epsilon_0}\right)^{14}$ siendo el coeficiente de proporcionalidad $\left(\frac{1}{\epsilon_0}\right)$ algo que tiene que ver con el medio en donde se encuentra la carga (análogo a la “atmósfera” que rodea al aerosol de pintura, que facilitará o no la salida del líquido). Ese coeficiente es usual anotararlo como la inversa de lo que se llama “permitividad eléctrica” del medio donde se establece el campo eléctrico. En el caso de establecerse en el aire o vacío la permitividad

14. Desde la metáfora hídrica, el valor del caudal de líquido imaginario no es meramente el valor de la carga q sino $\left(\frac{q}{\epsilon_0}\right)$, este factor de corrección $\left(\frac{1}{\epsilon_0}\right)$ que multiplica a q tiene que ver con la facilidad con la que el medio que rodea a la carga facilita o permite la formación de líneas de flujo o campo y correspondería desde la metáfora hídrica al rozamiento que se opone a la circulación o formación de las líneas de flujo (cf. *infra*: Anexo 5).

se simboliza como ϵ_o y la ley de Gauss resulta: $\phi_E = \frac{q}{\epsilon_o}$ siendo q la carga interior a la superficie:

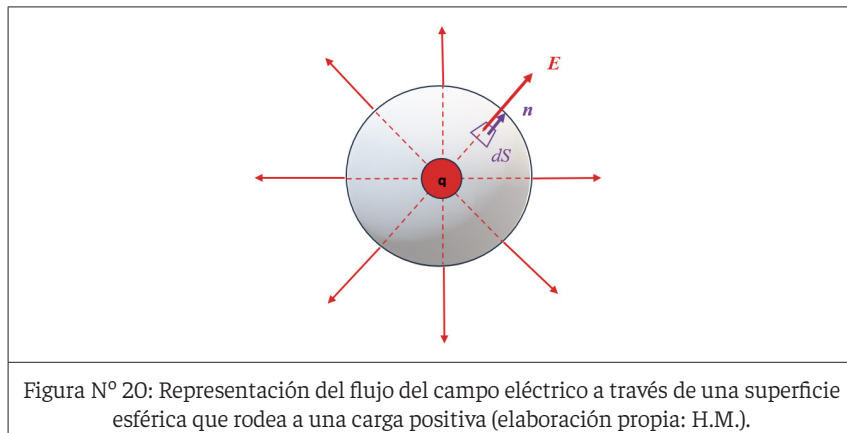


Figura N° 20: Representación del flujo del campo eléctrico a través de una superficie esférica que rodea a una carga positiva (elaboración propia: H.M.).

La metáfora hídrica permite visualizar que todo el líquido imaginario que sale de la “fuente” $\left(\frac{q}{\epsilon_o}\right)$, es el mismo que atraviesa la superficie esférica,¹⁵ así el flujo total o caudal que atraviesa la superficie mostrada podemos asegurar que es: $\phi_E = \frac{q}{\epsilon_o}$. Esta es la Ley de Gauss aplicada a este caso. Lo interesante de la metáfora es que si planteamos otro tipo de superficie rodeando la carga, por ejemplo:

15. El elemento dS que vemos en la Figura, es una pequeña porción (quasi puntual) de superficie “gaussiana” por donde “atraviesa” la línea de flujo. E es el vector intensidad de campo en ese “punto” superficial, análogo a la velocidad del fluido. Mientras que n es el versor (vector de módulo 1) normal y saliente en dS que tiene en cuenta la posición de la superficie respecto del flujo. Estos tres elementos son los que se consideran para el cálculo matemático del flujo saliente (debido al versor saliente). Si en vez de una carga positiva tuviésemos una negativa, el flujo calculado nos daría negativo, lo cual quiere decir que en vez de una fuente de líquido imaginario tenemos un sumidero.

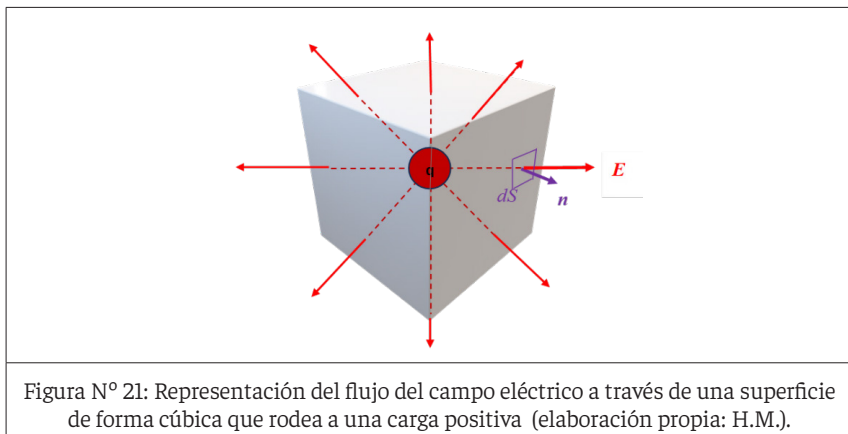


Figura N° 21: Representación del flujo del campo eléctrico a través de una superficie de forma cúbica que rodea a una carga positiva (elaboración propia: H.M.).

Si se nos preguntara ¿cuál es el valor del flujo del campo eléctrico que atraviesa la superficie? La respuesta sigue siendo, como en el caso anterior, $\phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$ porque conforme a la metáfora hídrica el caudal que “sale” del manantial (representado por la carga considerando el medio: $\left(\frac{q}{\epsilon_0}\right)$) es lo que atraviesa la superficie por más “rara” que la superficie cerrada sea...

Flujo en el caso de varias cargas y utilidad de la metáfora hídrica

Considerando las cargas positivas como fuentes del fluido imaginario cuyas líneas de corriente son las líneas de campo eléctrico y a las cargas negativas como sumideros donde ese líquido imaginario se aniquila, presentamos algunas configuraciones como ejemplo de la didáctica de la analogía hídrica:

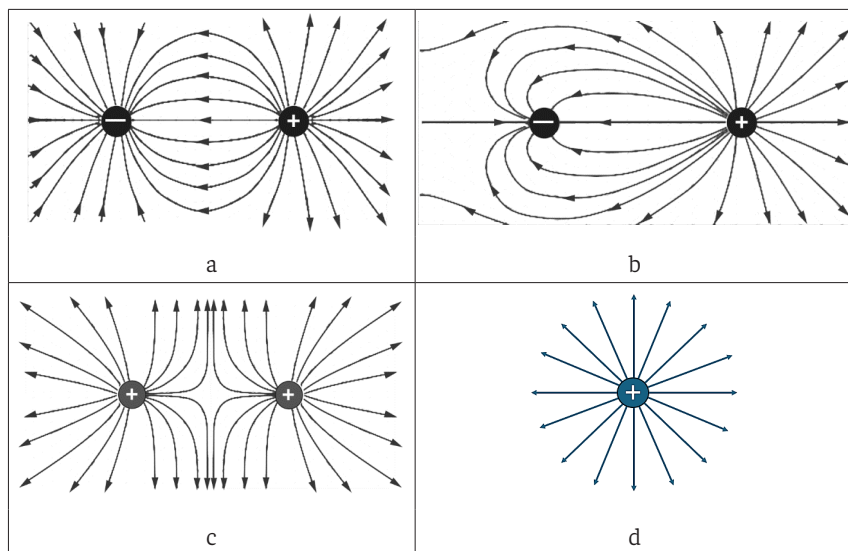


Figura N° 22: Metáfora hídrica de Maxwell considerando algunas configuraciones de fuentes y sumideros. Las líneas orientadas son las trayectorias que sigue una partícula llevada por la corriente o las líneas de corriente líquida (elaboración propia: H.M.).

Podemos observar la ventaja de la metáfora, en el siguiente ejemplo de cálculo de flujo:

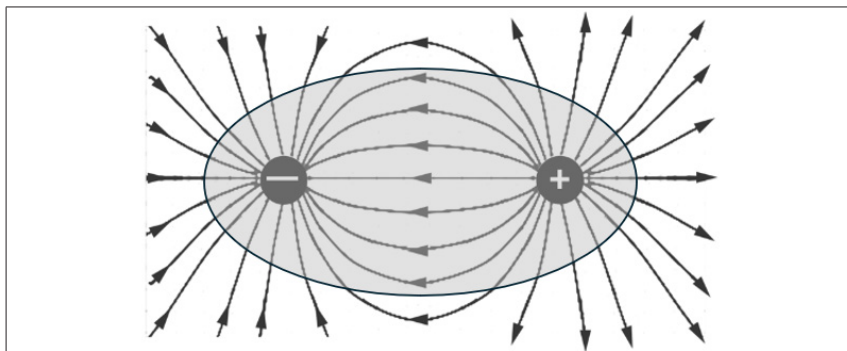


Figura N° 23: Flujo del campo eléctrico producido por dos cargas $+q$ y $-q$ de igual valor absoluto. El flujo del campo eléctrico a través de la superficie dibujada en gris debe tener en cuenta la carga total encerrada por la superficie. En este caso particular el flujo total a través de la superficie es cero, pues la carga total encerrada es cero ($q - q = 0$), $\phi_E = \frac{q_{total}}{\epsilon_0} = \frac{0}{\epsilon_0} = 0$ (elaboración propia: H.M.).

¿Cómo es posible que el flujo sea cero si hay líquido imaginario atravesando la superficie? Notemos, por un lado, que una parte del fluido imaginario sale a través de la superficie y otra parte de líquido imaginario entra a través de la superficie. Por otro lado, que la carga total encerrada sea cero, nos permite asegurar que todo el fluido imaginario que sale atravesando la superficie (notar esto del lado derecho del dibujo) es igual a todo el líquido imaginario que entra (notar esto del lado izquierdo del dibujo)...

La metáfora de los tubos de fuerza de Maxwell

Avanzando en la idea de campo (que compartía en forma pionera con Faraday y Thomson) y dejando atrás la aristotélica y teológica acción a distancia (que todavía pervivía en la obra de Newton), Maxwell modeliza las líneas de fuerza de Faraday imaginándolas no como simples líneas sino como “tubos de fuerza” de sección variable por los que circula el fluido, siendo la velocidad del fluido en cada sección del tubo proporcional a la llamada *intensidad* del campo:

Si consideramos estas curvas [líneas de fuerza de Faraday] no como simples líneas, sino como finos tubos de sección variable que transportan un fluido incompresible entonces, como la velocidad del fluido es inversamente a la sección del tubo [...] de esta manera podríamos representar la intensidad de la fuerza (Maxwell, 1890a, p. 158) (traducción y aclaración entre corchetes propias: H.M.)

La analogía con una cañería que transporta un líquido permite entender que cuanto más pequeña sea la sección del tubo, mayor será la velocidad del fluido imaginario, ya que el caudal del mismo es igual a la velocidad del fluido multiplicada por el área de la sección transversal o perpendicular de la cañería o tubo. Como la velocidad está relacionada analógicamente con E , a menor sección de la

cañería, mayor velocidad ν del fluido (dominio fuente) y mayor E o intensidad del campo eléctrico (dominio meta). De este modo por analogía con los circuitos hidráulicos, sabemos que cuanto más concentradas estén las líneas dentro del tubo, mayor será la intensidad del campo.

Leemos en el trabajo original de Maxwell sobre las líneas de fuerza de Faraday:

Si sobre alguna superficie que corta las líneas de movimiento del fluido dibujamos una curva cerrada, y si desde cada punto de esta curva dibujamos una línea de movimiento, estas líneas de movimiento generarán una superficie tubular que podríamos llamar un tubo de movimiento fluido. Dado que esta superficie es generada por líneas en la dirección del fluido de movimiento ninguna parte del fluido puede fluir a través de ella, de modo que esta superficie imaginaria es tan impermeable al fluido como un tubo real (Maxwell, 1890a, p. 160-161) (traducción propia: H.M.)

Ley de Gauss para el campo eléctrico. 1ª Ec. de Maxwell

En todo el tema de la electricidad y el magnetismo, olvidar las analogías que fruto de procesos metafóricos han ayudado a subir la cuesta abstracta (cf. Bruner, 2004, p. 58) tiene como resultado el quedarse con frías fórmulas matemáticas. Ellas son numéricamente descriptoras de los fenómenos electromagnéticos, pero quedan muy lejos de las intuiciones originantes. Por ejemplo, la primera de las cuatro ecuaciones de Maxwell (que resumen y coronan todo el electromagnetismo) dice en palabras: “la divergencia del campo eléctrico es igual a la densidad volumétrica de carga dividida por la permitividad eléctrica del medio”, y en la formulación acostumbrada se anota:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Esta abstracción¹⁶ puede resultar una complicación si se la desvincula de las metáforas sobre los fluidos de Gauss y Maxwell. Si se recuperan estas metáforas pueden entenderse más fácilmente: la ecuación está diciendo que un campo eléctrico tiene —como si de un fluido se tratara— “fuentes” en cargas positivas y “sumideros” en cargas negativas. Porque esta primera ecuación de Maxwell es la versión “en miniatura” de la Ley de Gauss del Campo eléctrico que hemos visto. La ecuación de Maxwell mencionada se obtiene al reducir la superficie gaussiana a dimensiones muy pequeñas, matemáticamente el “flujo” se transforma en una “divergencia”¹⁷ y la carga encerrada —correspondientemente— en una carga por unidad de volumen o técnicamente en una “densidad volumétrica de carga”. Maxwell para independizarse de las características macroscópicas particulares que generan un campo particular (ver por ejemplo las configuraciones de las figuras N° 17, N° 18, N° 19, N° 20) y con el objeto de centrarse en el campo mismo (en cada punto del campo), realiza análisis “quasi-puntuales” a partir de sus analogías hídricas.

16. Donde el símbolo ∇ (nabla) se maneja como si fuese un vector de derivadas parciales espaciales (operador de Hamilton): $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}; \frac{\partial}{\partial y}; \frac{\partial}{\partial z} \right)$; $\mathbf{E}$ es el vector campo eléctrico: $\mathbf{E} = (E_x; E_y; E_z)$; $\nabla \cdot \mathbf{E}$ es el producto escalar de los vectores anteriores; ρ es la densidad volumétrica de carga (la carga dividida por un pequeño volumen que la contiene) y ϵ_0 la permitividad eléctrica del medio (en este caso se consideró la del vacío, denotada por el subíndice 0), en general hace referencia a la facilidad para el establecimiento de líneas de fuerza como ya hemos comentado.

17. La divergencia de un campo vectorial (como el eléctrico) es el flujo saliente a través de una pequeñísima superficie gaussiana dividido por el volumen limitado por dicha superficie (cf. Taussig Scott, 1969, p. 707; matemáticamente es un límite cuando el volumen considerado encerrado por la superficie tiende a cero, cf. Apostol, 1980, p. 561). Es un escalar, es decir, puede ser un número positivo (que señala la presencia en el lugar de una fuente del campo), negativo (que señala la presencia en el lugar de un sumidero del campo) o cero (que señala que en el lugar en el que se calcula la divergencia no hay ni fuente ni sumidero).

§. La metáfora hídrica en el flujo de un campo magnético

Ley de Gauss para el campo magnético

Ya hemos visto que las líneas de fuerza magnética son cerradas, continuando con la metáfora hídrica de Maxwell, esto significa que la línea no tiene principio en ninguna “fuente”, ni tiene final en ningún “sumidero”; en otras palabras, el campo magnético no tiene ni fuentes ni sumideros. De este hecho básico surge lo siguiente: si imaginamos cualquier superficie cerrada en el seno del campo magnético (simbolizado con $\mathbf{B}$), todas las líneas de fuerza o “de flujo” que ingresan hacia el interior de la superficie, son iguales a las que salen desde el interior, desde la metáfora hídrica podemos entender que todo el líquido que entra hacia el interior es igual a todo el líquido que sale desde el interior y que por lo tanto el flujo total a través de la superficie es cero (Figura N° 24). Matemáticamente esto se escribe (en forma análoga al flujo del campo eléctrico que vimos) $\phi_B=0$. Esta es la Ley de Gauss para el campo magnético.

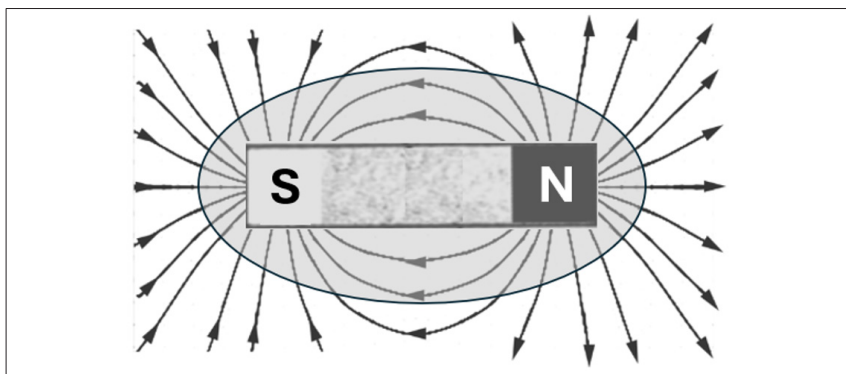


Figura N° 24: Ley de Gauss para el campo magnético

Las líneas de fuerza magnética son cerradas, todas las líneas que salen del polo N se sumergen en el polo S, recorriendo internamente el imán. El flujo del campo magnético a través de la superficie cerrada mostrada es cero, no hay fuentes donde nazcan las líneas, ni sumideros donde las líneas desaparezcan (elaboración propia: H.M.).

2ª Ecuación de Maxwell

Como dijimos para el caso del campo eléctrico y la 1ª ecuación, Maxwell hace análisis quasi puntuales para independizarse de la configuración física particular que origina el campo y centrarse en el campo mismo (en cada punto del mismo). La 2ª ecuación de Maxwell dice en palabras que “la divergencia del campo magnético es igual a cero”. Esta abstracción no dice mucho si no se la asocia a lo que le da sustento que es la analogía hídrica. De este modo la ecuación toma entidad y nos dice que el campo magnético no tiene fuentes desde donde surjan las líneas de fluido, ni sumideros que absorban las líneas de fluido. En otras palabras, si las líneas de campo magnético no tienen comienzo ni final no es posible aislar polos magnéticos partiendo el imán (cf. *supra*: Figura N° 8 en Capítulo 1), siempre los polos se presentan de a pares y el flujo del campo magnético a través de una superficie gaussiana (cerrada) siempre es nulo: todo lo que entra a través de la superficie es exactamente igual a todo lo que sale a través de ella.

Entonces cobra sentido la 2ª ecuación de Maxwell que es la versión “en miniatura” de la Ley de Gauss del Campo magnético que hemos visto: si la tal Ley de Gauss nos dice que el flujo del campo magnético es cero, esto también será así considerando una superficie cerrada muy pequeña. Reduciendo la superficie gaussiana a dimensiones muy pequeñas, matemáticamente el “flujo” se transforma en una “divergencia”, obteniendo la 2ª ecuación de Maxwell:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

La misma se interpreta diciendo que el campo magnético no tiene fuentes ni sumideros. Hemos dicho que uno de los motores del avance científico es la búsqueda de simetrías (cf. *supra* Capítulo 1, título: *Economía-Simplicidad-Simetría-Belleza*), de algún modo existe una “estética predictiva” que ha brindado

grandes éxitos a la ciencia (cf. *infra*: Capítulo 8: *La dimensión artístico-metafórica de la producción científica contemporánea: sentir la belleza como verdad y realizar predicciones estéticas*). Es debido a esto, que algunos se preguntan si no existirán los “monopolos magnéticos”, es decir “Nortes” aislados del Sur y “Sures” aislados del Norte, para de este modo anular la falta de simetría con las cargas eléctricas. Paul Dirac (1902-1984) teorizó en 1931 (Dirac, 1931) que tales monopolos podrían existir con lo cual no solo se solucionaría esta asimetría entre el magnetismo y la electricidad, sino que también se explicaría por qué la carga eléctrica existe en paquetes discretos múltiples de la carga de un solo electrón (cf. los estudios de Milikan en *supra*: *Una nueva metáfora desde el racionalismo de Leibniz*). De existir en la naturaleza tales monopolos el campo magnético llegaría a tener fuentes y sumideros y sus líneas —en estos casos— no serían cerradas (hasta donde sabemos no se han encontrado tales “monopolos” en la naturaleza pero han sido producidos en laboratorio, cf. Gibney, 2014; Ray *et. al.*, 2014).

§. Los pilares simétricos de la teoría de campo electromagnético

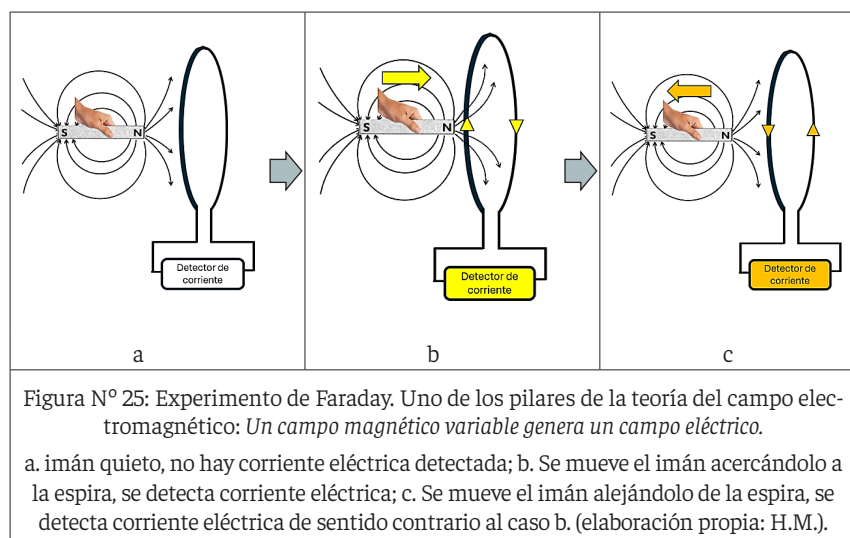
El razonamiento por simetría (manifestado en el título anterior), lleva a descubrir los dos pilares de la teoría de campo electromagnético. Estos pilares son simétricos y cualquiera de los experimentos que arroja uno de ellos sugeriría por simetría el otro! (cf. Einstein & Infeld, 1974, p. 121-133; cf. Hallyday & Resnick, 1977, p. 1342-1345). Estas experiencias ligán de modo inextricable a los campos magnéticos con los eléctricos que hasta aquí fueron estudiados de modo independiente. El científico actúa muchas veces impulsado por una especie de búsqueda de una estética que se vuelve predictiva y que está basada en relaciones de simetría (cf. *infra*: Capítulo 8). Esta búsqueda se basa en el traslado (*metaféro*) metafórico de esquemas de un ámbito a otro,

como recién señalábamos el caso de las simetrías buscadas en el ámbito eléctrico y magnético al pretender asociar las cargas de un ámbito con los monopolos del otro (lo cual no termina en una “mera simetría” que aplaca el deseo de belleza sino que abre nuevas perspectivas cognoscitivas).

Uno de los pilares del campo: la experiencia de Faraday

El 17 de octubre de 1831 Faraday mostró que al acercar y al alejar un imán a un circuito cerrado (espira o bobina) (Figura N° 25) se generaba una corriente eléctrica en el circuito (cf. Faraday, 1839, p. 11-12). Esa “corriente” eléctrica, es un movimiento de cargas eléctricas y testimoniaba la existencia de un campo eléctrico “arrastrando” esas cargas (recordar el modelo de fibras elásticas “en tensión” del campo eléctrico). Entonces se obtuvo uno de los pilares de la teoría de campo:

Un campo magnético variable genera un campo eléctrico



En la experiencia mientras el imán está en reposo respecto de la espira (Figura N° 25a) por el circuito no circula corriente alguna. Existe solamente el campo magnético estático del imán. Pero si acercamos rápidamente el imán al circuito, de modo que las líneas de fuerza del campo magnético sean “enlazadas” por el mismo, al instante se registrará la aparición en el circuito de una corriente eléctrica de corta duración (Figura N° 25b). Si luego alejamos rápidamente el imán aparece en el circuito una corriente eléctrica de corta duración de sentido opuesto al caso anterior (Figura N° 25c):

Y toda vez que la posición del imán varíe, reaparecerá la corriente como puede demostrarse con un aparato suficientemente sensible. Pero una corriente, desde el punto de vista de la teoría del campo, significa la existencia de un campo eléctrico que fuerza el desplazamiento de la electricidad a través del conductor. La corriente y, por lo tanto, también, el campo eléctrico desaparece cuando el imán vuelve al estado de reposo. (Einstein & Infeld, 1974, p. 122)

El otro pilar del campo: la experiencia de Oersted

La experiencia de Faraday nos dice entonces que: *Un campo magnético variable genera un campo eléctrico*. ¿Lo recíproco también será verdadero? Aquí entra la simetría en un razonamiento que traslada metafóricamente una estructura, cambiando *eléctrico* por *magnético* y viceversa en uno de los pilares (cf. Einstein & Infeld, 1974, p. 122) obtenemos el otro pilar simétrico de la teoría de campo:

Un campo eléctrico variable genera un campo magnético

Sólo el experimento puede decidir si esto último es cierto o no. Ese experimento existe y lo realizó Hans Christian Oersted (1777-1851) en 1819. Es decir, por la fecha vemos que históricamente este

experimento es anterior al de Faraday, pero cualquiera hubiese sido el primero,¹⁸ habría generado por simetría el otro: “Oersted mostró cómo podíamos convertir fuerzas eléctricas en magnéticas, yo tuve el placer de agregar el otro miembro de la relación completa [...] convirtiendo fuerzas magnéticas en eléctricas” (Faraday, 1844, p. 15). Es decir, esa “relación completa” de la que habla Faraday, indica la búsqueda por simetría del otro miembro de tal relación.

Oersted notó que haciendo circular cargas por un conductor se generaba un campo magnético que desviaba la aguja de una brújula (Figura N° 26). En la disposición del experimento, una aguja imantada es puesta en el centro de una espira (circuito con forma circular), de tal modo que el eje de la aguja quede contenido en el plano de la espira (Figura N° 26a¹⁹). Luego por dicha espira se hacen circular cargas eléctricas conectándola mediante un interruptor a una batería eléctrica (Figura N° 26b).²⁰ Lo que sucede concomitantemente a esta

18. Hay que aclarar que el experimento de Faraday utiliza un “detector de corriente” que se basa en la experiencia de Oersted (ver nota siguiente). Por razones de didáctica nosotros hemos comenzado con el experimento de Faraday. Pero si de algún modo se hubiese realizado una experiencia que mostrara que un campo magnético variable generaba un campo eléctrico, el espíritu anhelante de simetrías se hubiese lanzado a buscar su simétrico.

19. Esto es básicamente lo que luego se conoció como “galvanómetro de tangentes”, un aparato que se utiliza para detectar corrientes eléctricas y que utiliza como fuerza restitutiva de la aguja la debida al campo magnético terrestre.

20. Podemos entender cómo se produce esta circulación de corriente eléctrica recordando la metáfora de las fibras elásticas de Faraday. La batería es un dispositivo con dos “bornes”, capaz de mantener —al menos por un tiempo razonable— uno de ellos con carga positiva (señalado con el signo +) y el otro con carga negativa (señalado con el signo -). Supongamos que la espira está construida con un material “conductor”, es decir, posee cargas que —en condiciones favorables— pueden moverse. Supongamos también que esas cargas son positivas (esto es convencional, podría hacerse un análisis similar suponiendo cargas negativas —electrones—). Conectada mediante el interruptor a la espira, la batería genera la circulación de cargas positivas por dicha espira: esto sucede porque el borne con carga positiva de la batería (+) repele a las cargas positivas de la espira según el modelo de las fibras elásticas en tensión de Faraday (cf. Figura

Quizás el lector o lectora advierta que para que el experimento de Oersted sea perfectamente simétrico al de Faraday, el campo magnético *debería* ser variable. No hay inconveniente: para ello solo habría que aumentar y/o disminuir la “tensión”²² de las líneas del campo eléctrico producidas por la batería. De todos modos en el experimento de Oersted podríamos eliminar la espira y la batería y simplemente hacer girar un cuerpo cargado para obtener el campo magnético.²³ Así desde la experiencia de Oersted obtenemos el otro pilar “la variación de un campo eléctrico producida por el desplazamiento de una carga eléctrica va siempre acompañada por un campo magnético” (Einstein & Infeld, 1974, p. 121).

Cuantificación de las experiencias. 3ª y 4ª Ec. de Maxwell

Cualitativamente la experiencia de Faraday nos dice que sobre un campo magnético variable “se enrosca un campo eléctrico” (Einstein & Infeld, 1974, p. 127). Este campo eléctrico es puesto en evidencia por la circulación de cargas en la espira que envuelve al campo magnético (Figura N° 25b). Maxwell demostró que esto sucede aunque no exista la espira o circuito, el circuito cerrado simplemente detecta el campo eléctrico que está asociado al campo magnético variable (cf.

22. En la vida diaria solemos escuchar hablar de que hay “baja tensión” eléctrica en los tomacorrientes de nuestra casa, o que las líneas son de “alta tensión”. Esta “tensión” es una metáfora muerta o desgastada por el uso (katacresis), hace referencia a la “tensión” de las líneas de fuerza eléctrica con la que uno de los bornes de la batería empuja a las cargas de la espira que tienen su mismo signo y con la que el otro atrae a dichas cargas para hacerlas circular. Esta metáfora es recuperada por Van Valkenburgh; Nooger & Neville, 1977 (ver p. 87 y 91).

23. Efectivamente, Henry Rowland (1848-1901) en 1876 llevó a cabo una experiencia similar a la de Oersted, en vez de hacer circular cargas eléctricas por una espira, hizo girar un cuerpo cargado en torno a una aguja imantada, demostrando que se producía un campo magnético que desviaba dicha aguja (cf. Einstein & Infeld, 1974, p. 80-81). Esto demostraba también que una corriente eléctrica era un movimiento de cargas eléctricas.

Alonso & Finn, 1976, p. 647). Este campo eléctrico será más intenso en la medida que la variación del flujo magnético enlazado es más intensa (recordar la metáfora hídrica y las líneas de fuerza como líneas de corriente fluida, Figura N° 25b y N° 25c).²⁴ Mientras que cualitativamente la experiencia de Oersted nos dice que sobre un campo eléctrico variable se “enrosca” o “se envuelve un campo magnético” (Einstein & Infeld, 1974, p. 127) (Figura N° 26c).²⁵

Maxwell, para independizarse de configuraciones macroscópicas particulares (conductores, imanes, cargas, baterías) y centrarse en el campo electromagnético mismo (en cada punto del mismo), realizó análisis quasi puntuales de las dos experiencias. En la de Faraday redujo el circuito de la espira a un punto,²⁶ en la de Oersted redujo a un punto las líneas de fuerza magnéticas (Figura N° 26c).²⁷ Estas

24. Matemáticamente y adentrándonos en lo cuantitativo, se dice que la *circulación* (integral de línea) del campo eléctrico en torno al campo magnético enlazado es proporcional a la variación del flujo magnético enlazado (Ley de Faraday-Henry).

25. Matemáticamente y adentrándonos en lo cuantitativo, se dice que la *circulación* (integral de línea) del campo magnético en torno a la corriente enlazada es proporcional a la corriente eléctrica enlazada (Ley de Ampère). Recordemos que esta corriente eléctrica evidencia la presencia de un campo eléctrico que es la contrapartida del campo magnético en la teoría electromagnética.

26. Albert Einstein (1879-1955) y Leopold Infeld (1898-1968) lo dicen de este modo: “Imaginemos que el circuito [de la experiencia de Faraday] se reduce gradualmente de tamaño hasta convertirse en un pequeñísimo circuito que encierra un punto del espacio. En este caso todo lo concerniente a forma y tamaño del mismo pierde importancia para nuestras consideraciones y obtenemos, en el límite, leyes que relacionan, en un instante dado, las variaciones de un campo magnético y de un campo eléctrico, en un punto arbitrario del espacio” (Einstein & Infeld, 1974, p. 128). De este modo, la *circulación* del campo eléctrico (integral de línea) en torno al campo magnético enlazado se transforma en el *rotor* del campo eléctrico. El *rotor* es la circulación o tendencia a rotar en torbellino por unidad elemental de superficie.

27. “En esta experiencia las líneas magnéticas se arrollan sobre la corriente. Reduciendo a un punto las líneas circulares de fuerza magnética [... arribamos] a una relación entre las variaciones de los campos magnéticos y eléctricos, en

dos experiencias llevaron a formular las leyes conocidas históricamente como Ley de Faraday-Henry y Ley de Amper (perfeccionada luego por Maxwell), las cuales dan origen a las dos ecuaciones de Maxwell que completan el famoso cuarteto compendio del electromagnetismo. Para simplificar, consideramos que el campo se desarrolla en el vacío (es decir: no hay cargas ni corrientes, ni materiales) y obviando las constantes $\varepsilon_o \cdot \mu_o$, el lector puede apreciar la simetría lograda:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

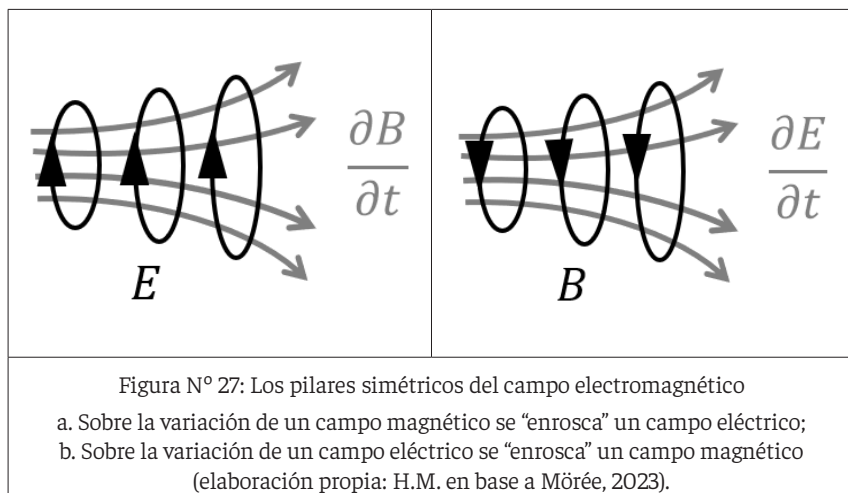
$$\nabla \times \mathbf{B} = \varepsilon_o \cdot \mu_o \cdot \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

La primera nos dice que la variación de un campo magnético $\mathbf{B}$ —variación simbolizada matemáticamente en el segundo miembro por $\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ — genera un campo eléctrico $\mathbf{E}$ —presente en el primer miembro, donde $\nabla \times \mathbf{E}$ es el rotor del campo eléctrico,²⁸ asociado a ese “enroscarse” que cualitativamente anunciamos— (Figura N° 27a).

La segunda nos dice que la variación de un campo eléctrico $\mathbf{E}$ —simbolizada en el segundo miembro por $\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ — genera un campo magnético $\mathbf{B}$ —presente en el primer miembro, donde $\nabla \times \mathbf{B}$ es el rotor del campo magnético, asociado a ese “enroscarse” que cualitativamente anunciamos— (Figura N° 27b).

un punto arbitrario del espacio y en un instante cualquiera del tiempo” (Einstein & Infeld, 1974, p. 129). De este modo, la *circulación* del campo magnético (integral de línea) en torno a la corriente enlazada se transforma en el *rotor* del campo magnético. El *rotor* es la circulación o tendencia a rotar en torbellino por unidad elemental de superficie.

28. Como dijimos, el símbolo se maneja como si fuese un vector de derivadas parciales espaciales (operador de Hamilton): $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}; \frac{\partial}{\partial y}; \frac{\partial}{\partial z} \right)$; $\mathbf{E}$ es el vector campo eléctrico: $\mathbf{E} = (E_x; E_y; E_z)$; $\nabla \times \mathbf{E}$ es el producto vectorial de los vectores anteriores.



Teoría de la relatividad: contra una asimetría inaceptable

Maxwell creía en un éter que él había desarrollado mediante un modelizado mecánico y que le permitía explicar los fenómenos electromagnéticos (cf. Maxwell, 1890a, p. 488s). Este éter constituía un marco de referencia fijo, como un “escenario” donde se desarrollaban y explicaban los fenómenos que describían sus ecuaciones. Pero Albert Einstein (1879-1955) se dio cuenta que existía una incongruencia respecto a las explicaciones en torno al experimento de Faraday que lo llevó a postular su revolucionaria Teoría de la Relatividad Especial en un famoso artículo de 1905 (*Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*).

Las incongruencias son las siguientes: por un lado, Einstein advierte que en la experiencia de Faraday los fenómenos observados deberían ser los mismos tanto en el caso de que el imán se mueva y la espira esté quieta, como en el caso de que el imán esté quieto y lo que se mueva sea la espira. Pero desde la creencia en un escenario fijo dado por el necesario éter maxwelliano, las dos perspectivas llevan a razonamientos esencialmente diversos, debido a

que, en el primer caso, el imán se mueve respecto del éter y en el segundo caso no lo hace, por lo que las explicaciones sobre lo que sucede (muy atadas al éter y su sistema de ruedas mecánicas) son muy diferentes, dice Einstein:

Si se mueve el imán mientras que el conductor se encuentra en reposo, alrededor del imán aparece un campo eléctrico [...] Este campo eléctrico genera una corriente en el lugar donde se encuentre el conductor. Pero si el imán está en reposo y el conductor se mueve, alrededor del imán no aparece ningún campo eléctrico sino que en el conductor se produce una fuerza electromotriz [...] que da lugar a corrientes eléctricas que coinciden en magnitud y dirección con las del primer caso, suponiendo que el movimiento relativo es igual en cada uno de los casos bajo consideración (Einstein, 1905, p. 91) (el subrayado propio —H.M.— marca las explicaciones diversas —asimétricas— observadas por Einstein, y que se originan al suponer la existencia de un éter en reposo)

Esto llevó a Einstein a cuestionar la existencia de ese éter fijo y su sistema absoluto de referencia,²⁹ enunciando dos postulados que son la base de su teoría Especial de la Relatividad. El primero de ellos al que llamó “Principio de relatividad” dice: “son válidas las mismas leyes de la electrodinámica [...] para todos los sistemas de referencia para los que las ecuaciones de la mecánica tienen validez”³⁰ (Einstein, 1905, p. 91). Esto es: ya sea que el imán se

29. “La introducción de un ‘éter luminoso’ resultará superflua hasta el punto de que, de acuerdo con la visión que aquí se presenta, no se requerirá un ‘espacio absolutamente inmóvil’ provisto de propiedades especiales, ni se asignará un vector-velocidad a un punto del espacio vacío en el que tienen lugar los procesos electromagnéticos” (Einstein, 1905, p. 91-92).

30. Los marcos de referencia para los que las leyes de la mecánica de Newton tienen validez suelen llamarse “inerciales” (pues se cumple la 1ª Ley de Newton, la de la inercia).

mueva —lo cual es un sistema de referencia fijo al conductor— o viceversa que el conductor se mueva —y el marco de referencia se tome fijo al imán— deben cumplirse las mismas leyes del electromagnetismo. El segundo postulado es el que dice que la velocidad de la luz es una constante universal: “la luz se propaga en el espacio vacío siempre con una velocidad determinada [constante] independientemente del estado de movimiento del cuerpo emisor” (Einstein, 1905, p. 91). Desde estos postulados Einstein nos lleva a comprender que así como no existe un espacio absoluto, tampoco existe un tiempo absoluto, ambos son dependientes o *relativos* al observador.

Vemos así, cómo la búsqueda de simetría revolucionó la física, comprobándose que esa “loca” visión relativista era confirmada luego por los experimentos.

XXIII. CONCLUSIÓN SOBRE LAS METÁFORAS FUNDACIONALES

Las metáforas de Faraday y Maxwell tuvieron importantes consecuencias conceptuales: abonar la incipiente y fundamental *teoría de campos* (a la que adherían William Thomson, Faraday y Maxwell) que terminaba con la misteriosa acción a distancia newtoniana (ya que *entre* las masas que se atraen o entre las cargas o entre los polos de un imán no hay acciones *a distancia* sino un “conjunto” de líneas de fuerza que forman un ente intermedio llamado “campo” —gravitacional, eléctrico o magnético según corresponda—).

En definitiva, Newton y Maxwell resumen el espíritu de la Ciencia Moderna a la vez que sientan sus bases teóricas. Hay que reparar que sin la metáfora de la boleadora de Newton, sin el camino metafórico de Coulomb y sin las metáforas de Faraday y Maxwell no habría teoría electromagnética.

Baste lo dicho como muestra de los procesos metafóricos operantes en el período fundacional de la ciencia moderna.³¹ En todo el recorrido efectuado en este capítulo, ha quedado de manifiesto algo frecuente: lo conquistado cognoscitivamente en un campo del saber como perteneciente al dominio meta, se convertía fructíferamente en conocimiento perteneciente al dominio fuente en otra disciplina, dándose un progreso en la evolución del conocimiento.

31. Para más metáforas, ver Magnasco, 2019.

XXIV. PRESENTACIÓN DE LOS LIBROS PARA ESTUDIANTES

§. *La didáctica ¿recuperación de analogías base de los modelos?*

Volviendo al tratamiento de los libros para estudiantes de ciencia e ingeniería, se observa en algunos casos (cf. Hewitt, 2007; Taussig Scott, 1969) una didáctica que —sin decirlo ¿y sin saberlo?— recupera los traslados metafóricos que dieron origen a los modelos.

En la Figura N° 15 (cf. *supra*: *Matematización desde la metáfora de la dilución* en Capítulo 5) a propósito de una analogía propuesta en el libro de Física de Hewitt, presentamos un caso de recuperación de la analogía fundante de la ley de la inversa del cuadrado de la distancia de Kepler bajo capa de “didáctica”. Es exitosa esta explicación y abona la tesis de que dicha recuperación de la analogía primera lejos de traicionar el saber sabio se constituye en una trasposición didáctica que permite ascender de la mejor manera al mismo.

Otra aplicación de la misma metáfora, la tenemos respecto de las líneas de campo magnético o eléctrico. Las mismas son asociadas a las líneas de corriente de un líquido por Maxwell (cf. Maxwell, 1890a, p. 155-229) y son propicias para definir —siguiendo la analogía con los líquidos— lo que se denomina “flujo del campo”, así como un líquido fluye y sus líneas de corriente presentan asociadas en cada uno de sus puntos una velocidad (cf. *supra*: Esquema N° 6 en el Capítulo 1 y Figuras N° 14, 15 y 16 en Capítulo 5) es posible calcular su flujo el cual dará como resultado el caudal de dicho líquido. La analogía se traslada al campo eléctrico y es posible entonces definir el “flujo” del mismo como si de un fluido se tratase.

Esta analogía de Maxwell para los campos magnético y eléctrico (y que sigue en parte la idea de Gauss sobre el flujo de un campo vectorial —cf. *supra*: *Metáfora de los flujos de agua de Maxwell*, Capítulo 1,

nota al pie—) es empleada por William Taussig Scott³² en un clásico libro de Electromagnetismo para estudiantes de ciencia e ingeniería (Taussig Scott, 1969) pero sin hacer referencia a Maxwell. Este autor emplea la analogía pero lo hace en letras pequeñas —como si se tratara de algo para decir “en voz baja”— ¿Será consciente que fue el propio Maxwell el que utilizó tal analogía en el caso concreto de los campos asociados al electromagnetismo? Refiere Taussig Scott:

Podríamos decir aquí que el nombre de “flujo” y la noción de sumar elementos del mismo, junto con la obtención de un total se derivan por analogía con el flujo de un líquido o gas. Si sustituimos el vector $\mathbf{E}$ por un vector $\mathbf{v}$ que presente la velocidad de las partículas de fluido para el punto en cuestión, la expresión [...] ϕ_v es el volumen [de líquido por unidad de tiempo] fluyendo a través de S [es decir, el caudal de líquido que atraviesa la superficie S]. “Flujo” se deriva de la palabra latina “Flux” y describe aquí una analogía matemática precisa. No hay por supuesto, un movimiento real asociado con $\mathbf{E}$. (Taussig Scott, 1969, p. 40) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Debo decir que la analogía hídrica de Maxwell recuperada o inventada bajo capa de didáctica por Taussig Scott (1969) me resultó muy clarificadora en mis tiempos de estudiante de Física II, pero el estudio matemático del flujo de un campo vectorial en Análisis Matemático II de la misma época no hizo referencia alguna a esta analogía, lo cual fue perder la oportunidad de esclarecer la definición matemática del flujo de un campo vectorial.

En todos los casos donde los libros para estudiantes de Ciencias e Ingeniería hacen referencia al “flujo” del campo eléctrico, aparece

32. William Taussig Scott, fue un físico y profesor de la Universidad de Nevada que se interesó además en teología y filosofía y trabajó en la biografía del polímata Michael Polanyi miembro de la Royal Society de Londres y del Merton College de Oxford.

el nombre de Carl Friedrich Gauss³³ (1777-1855) y su famosa Ley (cf. *supra*: *Caso de la ley de Gauss y su base metafórica*) pero no aparece el de Maxwell (1831-1879) que fue el que desarrolló la analogía para el caso de la electrostática y el magnetismo unificando el electromagnetismo al entender las líneas de campo como si de las líneas de corriente de un fluido se trataran (cf. *supra*: *Metáfora de los flujos de agua de Maxwell* en el Capítulo 1).

Taussig Scott, (1969, p. 49-50) trae una variante de la analogía de los tubos de fuerza utilizada por Maxwell (cf. *supra*: *La metáfora de los tubos de fuerza de Maxwell* y Maxwell, 1890a, p. 155-229), pero sin mención de Maxwell, parece ser una didáctica que ¿sin saberlo? se aproxima a la idea primigenia del fundador del electromagnetismo:

Puede obtenerse una representación gráfica de la intensidad del campo eléctrico en una región dada mediante el empleo del concepto de líneas de fuerza [recordemos que esas líneas fueron inteligidas metafóricamente por Faraday como si fuesen hilos que se tensionan o elásticos y por Maxwell como las líneas de líquido en movimiento]. Podemos trazar a través de cualquier punto en el campo un segmento corto de una línea que tenga la dirección del vector de campo. Si imaginamos que el espacio

33. Este matemático alemán es conocido por sus contribuciones a los campos de la astronomía, la matemática y la física, especialmente en el campo del electromagnetismo. En materia de astronomía Gauss propuso un nuevo método para calcular las órbitas de los cuerpos celestes, expuesto en *Teoría Motus corporum coelestium in sectionibus conicis Solem ambientium*, de 1809. En 1807 fue nombrado profesor de matemáticas y director del observatorio de Gotinga, ocupando los dos cargos hasta su muerte ocurrida el 23 de febrero de 1855. Gauss trabajó sobre todo en matemáticas y en física matemática y junto con el físico alemán Wilhelm Eduard Weber realizó investigaciones sobre el magnetismo en el período 1832 a 1840. Entre sus más importantes trabajos están los de la aplicación de las matemáticas al magnetismo y a la electricidad. Gauss no publicó muchos de sus trabajos, dejando constancia de ellos únicamente en cartas dirigidas a amigos o anotados en su diario, que fue recuperado en 1898.

está lleno de tales segmentos, se ajustarán unidos para formar líneas continuas que sean tangentes a los vectores de campo $\mathbf{E}$ [...] Estas líneas son conocidas como líneas de fuerza [...] Un concepto que resulta útil a veces es el de tubo de fuerza, que es una región limitada por una superficie cilíndrica cuyas paredes están compuestas por líneas de fuerza (Taussig Scott, 1969, p. 49) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

En esta última frase, se observa que los tubos de fuerza propuestos por Taussig Scott son muy distintos a los propuestos por Maxwell (en Maxwell, 1890a, p. 158). En el caso de Maxwell los tubos son una modelización de las líneas de fuerza de Faraday que dejan de ser meras “líneas” para pasar a ser pequeños tubos de sección variable que permiten entender la variación de velocidad del fluido imaginario de Maxwell —asociada metafóricamente a la intensidad del campo— con la variación de la sección del tubo de fuerza. Además, líneas de fuerza “más separadas” se asocian a tubos de fuerza de mayor sección, por lo que la correspondiente intensidad del campo se hace menor en la zona. Continúa diciendo Taussig Scott desde su metáfora de los tubos de fuerza:

La importancia especial de tal tubo se deriva del teorema de flujo. En una región libre de carga ($\rho = 0$), el flujo neto a través de los lados y dos extremos de una sección de tal tubo es cero. Siendo los lados, líneas de fuerza y tangentes a $\mathbf{E}$, no hay flujo a través de los mismos. En esta forma, el flujo que fluye a través de un extremo del tubo es igual al flujo que sale por el otro. El flujo tiene cierta analogía con el volumen o flujo masivo del líquido de un tubo: se “conserva” a lo largo de un tubo en regiones del espacio libre de carga. En esta forma podemos obtener una descripción gráfica y cuantitativa de un campo, considerando que todo el espacio está ocupado por tales tubos (Taussig Scott, 1969, p. 49)

La analogía de Taussig Scott se completa con las fuentes y los sumideros de tales tubos: “En esta forma, cada carga q es la ‘fuente’ o punto de origen q/ϵ_0 de los tubos, y cada $-q$ es el ‘sumidero’ o punto final $-q/\epsilon_0$ de los tubos” (Taussig Scott, 1969, p. 49-50). Notar que los tubos de fuerza de Taussig Scott no modelizan las líneas de fuerza sino que coinciden con lo que Maxwell llama “tubo de movimiento de fluido” (cf. Maxwell, 1890a, p. 160-161), compuesto por muchos finos tubos o líneas de fuerza.

Como conclusión de este tópico podemos decir que la didáctica de los libros para estudiantes de ciencia e ingeniería *utiliza* —al menos parcialmente— las analogías que dieron origen a los modelos, pero *sin explicitarlas*. Nos preguntamos: ¿sólo las utiliza o también las *recupera*? La omisión de la mención de una “recuperación” (que daría gran aval a su *pertinencia*): ¿será índice de desconocimiento de su actuación inteligibilizadora original? ¿Sólo debe entenderse su presencia como un recurso didáctico? En este último caso volvemos a lo dicho en la Introducción a este libro sobre cierto prejuicio contra las analogías o metáforas: como si de cosas a descartar (por no científicas) se tratase.

§. Axiomatización con devaluación de la contrastación empírica

Una consecuencia de lo recién dicho, es la eliminación del contexto de descubrimiento en el que funcionan las metáforas vivas y donde se va tanteando empíricamente (como vimos en el caso de Faraday y Maxwell) para centrarse en el contexto de justificación en el que las metáforas son desvalorizadas y se produce una reorganización axiomática deductiva en base al revestimiento matemático de las mismas.

Resnick y Halliday (Tomo I, 1966) y Halliday y Resnick (Tomo II, 1977) en los Prefacios³⁴ a sus obras clásicas para estudiantes de ingeniería marcan el proyecto de la obra. Allí los autores señalan

34. Este prólogo desaparece en versiones posteriores: Resnick, Halliday & Krane (2001) y Halliday, Resnick & Krane (1999), pero su ausencia no responde a un cambio en el proyecto que señalan en el prólogo que aparece en la versión de la obra de 1977.

una serie de características de la Ingeniería y de su relación con la Física y con la “matematización” de la naturaleza. Según los autores se da un acercamiento entre la Física y la Ingeniería desde los últimos años y la matematización parece ser lo que produce dicho acercamiento.

Esta matematización produce que varios ámbitos de la Física sean enlazados a través de analogías basadas en modelos semejantes (hemos visto como las leyes de la gravitación universal, de la fuerza entre cargas eléctricas y entre “masas magnéticas” tienen la misma forma), lo cual da pie a hablar de la “unidad de la física”.

Transcribimos algunas partes del prólogo y las comentamos en base a lo estudiado en dicha obra: “Las bases de la ingeniería, que en otra época fueran sobre todo empíricas, ahora son fundamentalmente científicas” (1966, p. 5; 1977, p. 939). Esto es, la base de la ingeniería es científica y no un cúmulo de reglas empíricas, se identifica “lo científico” con la “matematización” de la naturaleza o su traducción matemática en los modelos y su verificación empírica, esto último no está dicho en el Prólogo pero se verifica en el desarrollo del libro. “En la actualidad, la necesidad es insistir en los principios más bien que en los procedimientos específicos...” (1966, p. 5; 1977, p. 939). Estudiando los libros se ve que —como didáctica— los autores emplean por un lado “principios” generales basados en la idealización-axiomatización que permiten la deducción y, por otro, las analogías que permiten enlazar en una unidad ámbitos dispares. Los autores se proponen no caer en las dificultades que se encuentran en obras anteriores para ingenieros y hombres de ciencia:

Las críticas que con más frecuencia se hacen en diversos grados a los libros de texto que se utilizan en tales cursos (para ingenieros y hombres de ciencia) son las siguientes [sólo traemos aquí dos de ellas]: (a) el contenido es enciclopédico considerando que los temas no se tratan con suficiente profundidad,

que su presentación es sobre todo descriptiva y no analítica y con explicaciones, y que se tratan demasiados temas. (Halliday & Resnick, 1977, p. 939 y Resnick & Halliday, 1960, p. 5) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Este “contenido enciclopédico descriptivo” es el panorama previo a las síntesis clásicas de Newton-Maxwell, resuena en ese deseo de análisis profundo con explicaciones el ideal de los *Elementos de Euclides* adoptado de hecho por Newton en *Principia*: con pocos “elementos” iniciales —al modo de axiomas evidentes— poder decir orgánicamente mucho mediante procesos deductivos.

[la segunda crítica que transcribimos aquí, es la siguiente] c) el material de estudio se organiza en capítulos demasiado independientes que no permiten revelar la unidad esencial de la física y de sus principios (Halliday & Resnick, 1977, p. 939 y Resnick & Halliday, 1960, p. 5) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Esta “unidad esencial” es más bien una construcción, un añadido producido por esa búsqueda de un ideal de simplicidad y belleza (cf. *infra*: Capítulo 8: *La dimensión artístico-metafórica de la producción científica contemporánea: sentir la belleza como verdad y realizar predicciones estéticas*) a través de una matematización creciente (los autores hablarán de una “belleza” de la simplicidad de las ecuaciones de Maxwell: Halliday & Resnick, 1977, p. 1347-1348, cf. *supra*: Esquema N° 6 del Capítulo 1). Este proyecto de unidad manifestado en el deseo de “con poco” (simple = bello) “decir mucho” tiene como modelo último a los *Elementos* de Euclides (cf. *supra*: *Metáfora de la estructura euclidiana* en Capítulo 4 y Esquema N° 17 en el mismo capítulo). Continúan diciendo los autores:

Hemos llegado a la conclusión de que la mejor manera de alcanzar nuestras metas será modificando la selección y tratando

los temas dentro del marco de la organización tradicional [la organización tradicional es el enfoque temático]. Barajar al gusto las cartas de los temas por tratar o abandonar por completo un cierto orden que represente el crecimiento del pensamiento físico conduciría, por una parte, a no llegar a apreciar las síntesis newtoniana y maxwelliana de la física clásica y, por otra parte, a una comprensión superficial de la física moderna. (Halliday & Resnick, 1977, p. 940 y Resnick & Halliday, 1960, p. 6) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Las síntesis nombradas (newtoniana y maxwelliana) son fruto de “idas y venidas”, de un proceso que no ha sido ni lineal ni deductivo y que ha introducido idealizaciones y esquematizaciones para tratar de manejar matemáticamente a la naturaleza. Una vez lograda la síntesis, todo se reordena artificialmente en función de ellas y el resultado da la sensación de un proceso lineal (cf. *supra*: *Dificultades propias de la comunicación escrita de una investigación* en nuestra Introducción) en donde la matemática realmente es parte de la constitución de la naturaleza (el famoso libro escrito en caracteres matemáticos) y no una construcción de la ciencia; blanquear aunque sea parcialmente las “idas y venidas” mencionadas podrían humanizar y dar realidad al verdadero proceso en que la ciencia logra su “objetividad”.

Entienden los autores que una comprensión “superficial” es la que no cuenta con la posibilidad de reconstruir matemáticamente la trabazón de todo el edificio temático. La cita continúa del siguiente modo dando sustento a lo señalado: “En nuestra opinión, para edificar la superestructura de la física contemporánea [cf. lo dicho sobre la comprensión superficial] es indispensable una sólida cimentación de la física clásica” (Halliday & Resnick, 1977, p. 940 y Resnick & Halliday, 1960, p. 6, subrayado y nota entre corchetes propia: H.M.).

Esta “cimentación” se da a través de los modelos lógico-matemáticos expresados en las síntesis de Newton y Maxwell. Es decir como

opción didáctica los autores recurren a una especie de axiomatización y proceso deductivo, es decir una reorganización artificial.

Para ilustrar cómo esperamos alcanzar nuestras metas dentro de estos lineamientos, presentamos aquí las principales características de nuestro libro. [...] Se ha insistido en la interrelación de las diversas disciplinas de la física echando mano de analogías físicas y matemáticas y de métodos de similitud (Halliday & Resnick, 1977, p. 940 y Resnick & Halliday, 1960, p. 6)

Aquí bajo una especie de didáctica se introduce el recupero de las analogías o los traslados metafóricos que dieron origen a los modelos, no puede saberse si se trata realmente de “un recupero” o de una reconstrucción mental de los autores.

El Prólogo correspondiente a otra obra clásica para estudiantes de ciencias e ingeniería Alonso & Finn (1970) se expresa en términos semejantes. Los prólogos —como los mencionados— desaparecen en textos actuales pero no su proyecto de axiomatización y procura de unidad. Más allá de este proyecto establecido en los prólogos referidos podemos preguntar luego de haber estudiado con estos libros y luego de ampliar el horizonte con nueva bibliografía ¿Qué queda en estas obras del “contexto de descubrimiento”? Muy poco, alguna anécdota no directamente vinculada como la de Newton con la manzana (Halliday, Resnick & Krane, 2001, p. 382 y 385), pero nada de la analogía que realmente dio origen a la posterior matematización, como el caso de la “honda o boleadora” de Huygens para la ley de la inversa del cuadrado de la ley de gravitación y la imagen de Newton de una cuerda invisible cuya tensión es la fuerza gravitatoria.

¿Qué queda en estas obras de Física de los ingentes esfuerzos científicos tendientes a la demostración empírica y las mediciones efectuadas? Bastante poco, normalmente no hay gráficas reales (es decir, las gráficas son dibujadas sin poner “la dispersión” que toda

gráfica real presenta) y en este sentido sin buscarlo se produce una desvalorización de lo histórico y lo experimental... parece hacerse presente lo dicho por Jean Piaget, cuando observa que en ciencia hay un interés por la axiomatización: “es como si el físico se esforzara, con sentimiento de culpabilidad, en esconder lo que se debe a la experimentación (empírica) y en hacer creer con una cierta hipocresía que todo lo ha deducido [1979, 125-126]” (J. Piaget citado por Samaja, 2004, p. 30). En esta última sentencia hay un matiz de contradicción en el concepto mismo de ciencia experimental: ¿Por qué si la contrastación empírica con los hechos es tan importante como criterio de validación, hay una tendencia a la reorganización axiomática temática de tal modo que todo parezca “a priori”?³⁵ (Este tema será retomado en el Capítulo 10). Se observa un acento pronunciado en la matematización y reorganización axiomática deductiva artificial. Esto último es inevitable desde dos perspectivas:

- a) desde la postura epistemológica que entiende que lo científico debe —por naturaleza— adscribirse a un lenguaje de tipo matemático y sin fisuras lógicas que reproduzca “la vida interna” del objeto (en el fondo late la metáfora de Galileo: la naturaleza es un libro escrito en caracteres matemáticos);
- b) desde la perspectiva que entiende que la “disecación” matemática de la naturaleza es necesaria para poder “manejarla” (cf. *infra*: *Mapa matemático y territorio físico* en Capítulo 7), esto es, la empiria ofrece un número de variables no inferior a infinito y es naturalmente inevitable que el ser humano deba simplificar y reducir los “objetos” a sus necesidades:

35. Pienso en uno de sus reflejos, en el “enfoque temático” de la educación que escondiendo todo el proceso de génesis del conocimiento mediante una reorganización artificial, prima sobre el “enfoque problematizador” que ha sido el verdadero motor del mencionado conocimiento ¿no habrá que recuperarlo como didáctica que aguijonea la creatividad?

[...] los objetos de esta forma de saber [investigación científica] se presentan siempre como siendo seres complejos; es decir, totalidades que contienen partes diferenciables en calidad y en cantidad. Se presentan como objetos fragmentados o fragmentables de diferentes maneras y, por añadidura, cada plano de fragmentación admite ser estudiado “mediante un número de variables no inferior a infinito” como lo dice Ashby. [1965] (Samaja, 2004, p. 53)

Es interesante una afirmación de Peirce en una carta a Lady Welby de 1911: “[...] es totalmente cierto que nunca podremos alcanzar un conocimiento de las cosas tal como son. Podemos conocer sólo su aspecto humano. Pero ese es todo el universo que existe para nosotros” (Peirce citado por Nubiola, 2001, p. 191; también en Nubiola, 2002, párr. 7). Este “aspecto humano” del objeto señalado por Peirce, es el objeto respondiendo —como puede— a las preguntas e intereses de los hombres, es un “mapa” posible del “territorio” y es el que creemos que no podemos —sin más— identificar con las cosas como si el investigador las hubiese descubierto observando asépticamente y midiendo sin poner nada propio allí (confundiendo el “mapa” con el “territorio”). Se asume que el sujeto que investiga está ausente...

§. *La realidad del campo y el lenguaje de la acción a distancia*

Por un lado, las líneas de fuerza de Faraday y la metáfora hídrica de Maxwell, nos han permitido “visualizar” el campo magnético y el campo eléctrico como algo más que una mera representación, los campos parecen estar allí realmente.³⁶ Por otro lado, las experiencias

36. Como vimos, Faraday introdujo por primera vez el concepto de línea de fuerzas magnéticas basándose en cómo pequeñas limaduras de hierro se alinean alrededor de un imán (“On the lines of magnetic force”, Faraday, 1855). Más tarde publicó una especulación sobre si estas líneas podrían estar describiendo una característica física (“On the physical character of the lines of magnetic force”,

simétricas de Faraday y Oersted y las ecuaciones de Maxwell nos han permitido visualizar la realidad del campo electromagnético. Sin embargo, en los libros para estudiantes de ciencia e ingeniería suele utilizarse un lenguaje que recuerda o induce el viejo concepto de la acción a distancia: se centran en la fuerza y no en el campo, es el caso de la presentación de la ley de Coulomb como una fuerza entre cargas y no como interacción de campos constituidos por líneas de fuerza elásticas entre las que hay tensión longitudinal y presión transversal como hemos visto. Otro tanto ocurre con la ley de Coulomb para la fuerza en el magnetismo entre polos y con la fuerza de Lorentz entre cargas en movimiento en un campo magnético. Lo nota Herrmann:

tradicionalmente el principiante aprende varias leyes de fuerza, como la ley de Coulomb para cargas eléctricas, la ley de Coulomb para polos magnéticos y la ley de Lorentz. Por supuesto, estas leyes son correctas. Sin embargo, introducirlas como la base de las interacciones electromagnéticas tiene desventajas [...] promueve la antigua idea premaxwelliana de una acción a distancia, ya que en ella la fuerza se expresa únicamente por las cargas, es decir, las fuentes del campo. Sugiere afirmaciones como las siguientes: “Las cargas iguales se repelen” y “Las cargas desiguales se atraen”, que de hecho se pueden encontrar en muchos libros de texto y que recuerdan mucho a los viejos tiempos de la acción a distancia [...] tienen la desventaja de que sólo nos dicen algo sobre las fuerzas sobre un cuerpo, pero no sobre las fuerzas dentro del campo (Herrmann, 1989, p. 708) (traducción propia: H.M.)

Faraday, 1855). Luego adoptó la posición de que las líneas de fuerza magnética eran en realidad propiedades físicas (“On the physical lines of magnetic force”, Faraday, 1855). El concepto de línea de fuerza fue adoptado posteriormente por J. C. Maxwell (“On faraday’s lines of force”, Maxwell 1890a; “On physical lines of force”, Maxwell 1890a) y por J. J. Thomson (“Electric displacement and Faraday tubes of force”, Thomson, 1893).

§. Paradojas

Los libros para estudiantes de ciencias e ingeniería si bien tratan con cuestiones referidas a lo real, lo material, lo físico, lo medible, ofrecen modelos matemáticos muy estilizados y parecen sentirse eximidos del esfuerzo por aclarar que lo producido matemáticamente es sólo un aspecto de la realidad... En cambio, en las obras de cálculo matemático suele haber un esfuerzo por mostrar la conexión de ese mundo abstracto matemático con lo real y hacen una distinción entre el “modelo” matemático y la realidad que este describe. Creemos que se debe al intento de mostrar la utilidad “física” y “material” que los libros anteriores —por la materia “física” que tratan— se sienten eximidos de mostrar. Larson & Edwards (2010) por ejemplo, —en un conocido libro de cálculo matemático— hablan de los modelos matemáticos que describen gran parte de la realidad física, pero los autores se cuidan de no confundir el “mapa” aportado por el modelo con el “territorio” de la realidad. Ellos establecen la necesidad de hacer un “ajuste de modelos matemáticos a colecciones de datos” (p. 33). Dicen los autores que la realidad física arroja “nubes de puntos” o “diagramas de dispersión” (p. 32) y se preguntan qué es —entonces— un modelo matemático (p. 33) proponiendo una respuesta tomada de la obra *Guide to Mathematical Modelling* de Edwards & Hamson. El modelado —según los últimos— consiste en aplicar “habilidades matemáticas” para obtener respuestas útiles a problemas reales, esto es permitir una evaluación rápida y económica orientada hacia soluciones óptimas. Ellos aclaran que aprender a aplicar estas “habilidades matemáticas” es “muy distinto del aprendizaje de las propias matemáticas”. En la elaboración de estos modelos no existen reglas precisas o respuestas “correctas” y aclaran que a modelar sólo se aprende haciéndolo.

Notemos la paradoja: mientras los libros de Física plantean prolijas leyes matemáticas aplicadas sin más a lo real, los libros

“matemáticos” plantean que la realidad física nunca es matemática pero puede usarse la ciencia matemática para hallar algún patrón útil. Es notable que los libros de física tiendan a confundir el “mapa” con el “territorio” y que los libros de cálculo matemático fundados aparentemente en el perfecto mundo platónico (cf. Larson & Edwards, 2010, p. 31-33 —“Ajuste de modelos a colecciones de datos”—) distingan estos elementos y hablen de entidades diversas que postulan “un arte” en la aplicación matemática a una realidad a la que los modelos no se acoplan “pictóricamente”.

Capítulo 7

REFLEXIONES EPISTEMOLÓGICAS E INTERDISCIPLINARIAS SOBRE LA CIENCIA MODERNA: METÁFORA, REALIDAD, MATEMÁTICA Y METAFÍSICA

En nuestra época quizá existan cinco o seis cerebros que comienzan a sospechar que tal vez la física no sea más que un instrumento para interpretar y arreglar el mundo, 'una adaptación para nosotros mismos', si se nos permite decirlo, y no una explicación del universo.

Friedrich Nietzsche, "Más allá del bien y del mal"

XXV. EMBRETE MATEMÁTICO VÍA METAFÓRICA

Se suele decir que Newton partiendo de la ley de Galileo sobre la caída libre, de las leyes de Kepler sobre el movimiento planetario y del movimiento de las mareas *induce* la ley de la gravitación universal. Ya hemos visto que la clave para arribar a su genial intuición fue la metáfora de la honda o boleadora de Huygens perfeccionada por Hooke, y las metáforas de la dilución del sonido o de la luz de Kepler. Es decir, más que una *inducción*, Newton utiliza una especie de método *hipotético deductivo* en cuanto que a partir de las metáforas que de algún modo se mantienen intocables va a buscar datos confirmatorios. Si algo no funciona no modifica el núcleo central de su conjetura o su metáfora básica (recordemos que ante el fracaso de la prueba lunar, Newton no abandona su intuición metafórica básica y está 13 años esperando nuevos datos). Este hecho ha sido estudiado por Lakatos en la historia de la ciencia.

§. *La epistemología de Imre Lakatos*

Chalmers dice que ni el inductivismo ingenuo —que dice derivar inductivamente las teorías de la mera observación— ni el esquema falsacionista —de conjeturas “irracionales” y falsaciones— describen la génesis de las teorías científicas. Para describir esta génesis hay que considerar que las teorías científicas son *totalidades estructuradas* siendo tal estructura de la teoría invisible tanto para la concepción inductivista como para la falsacionista (cf. Chalmers, 1982, p. 111), es decir, —y es una aclaración nuestra— tal estructura no proviene de la empiria misma, sino que es algo que produce el observador (como las metáforas de Faraday, Maxwell y Newton: ellas son habilitadas por la observación de la empiria pero no están contenidas en esta última).

Chalmers señala que una de las epistemologías que consideran a las teorías como estructuras es la del filósofo y matemático Imre Lakatos discípulo y crítico de Karl Popper. Una de las dificultades del falsacionismo de Popper¹ es que no existe una guía respecto de qué parte del complejo teórico es “culpable” de la falsación. Si se deja al antojo situar la culpa, es difícil ver cómo pueden progresar las ciencias de la manera con que parecen hacerlo.

Lakatos sugirió que no todas las partes de una ciencia van a la par, esto es hay una estructura subyacente que considera algunas partes más fundamentales que otras. Es decir, algunos principios son más básicos que otros, de hecho, algunos son tan fundamentales que definen los rasgos de una ciencia. Tal es así que a estos principios no se les puede culpar de ningún fallo, sino que la “culpa” debe recaer en componentes menos fundamentales. Se puede ver una ciencia como el desarrollo programático de las implicaciones que tienen los principios fundamentales y esto es un *programa de investigación*. Los científicos pueden tratar de resolver los problemas que se presentan modificando los supuestos más periféricos. En la medida en que sus esfuerzos tengan éxito, contribuirán al desarrollo de un mismo *programa de investigación*, por muy diversos que sean sus intentos de jugar con las suposiciones periféricas.

Lakatos llamó a los principios fundamentales el *núcleo central* de un programa de investigación, este núcleo es la característica definitoria de un programa. Toma la forma de unas hipótesis muy generales que son la base a partir de la cual se desarrolla el programa.²

1. K. Popper propone ser audaz y creativo en la formulación de las hipótesis o conjeturas (que según él no poseen ninguna racionalidad) y ser tenaz en el empeño de tratar de refutarlas. Si la hipótesis resiste todos los intentos de falsación seguirá siendo tenida en cuenta —provisoriamente al menos— por la ciencia, si es falsada, deberá ser sustituida por otra. (cf. Popper, 1991, p. 239 y 347)

2. Chalmers pone dos ejemplos, el núcleo central de la astronomía copernicana lo constituirían los supuestos de que la Tierra y los planetas giran alrededor de un Sol inmóvil y de que la Tierra gira sobre su eje una vez al día. El núcleo central

Lakatos llamó *cinturón protector* a la suma de hipótesis adicionales que complementan el núcleo central, con el fin de subrayar que su papel consiste en proteger el núcleo central de las falsaciones, si hay un fallo lo que se modifica es el cinturón periférico y no el núcleo central.

Según Lakatos el núcleo central es infalsable por una decisión metodológica. Por ejemplo, el cinturón protector del programa copernicano fue modificado reemplazando por órbitas elípticas el conjunto de epiciclos de Copérnico. Lakatos dividió las líneas maestras del trabajo dentro de un programa de investigación en heurística negativa y heurística positiva. La heurística negativa especifica lo que se aconseja no hacer al científico, esto es: no modificar el núcleo central de su teoría para no salirse del programa de investigación. Cualquier científico que modifique el núcleo central habrá decidido, de hecho, salirse del programa.³ La heurística positiva de un programa, es la que indica a los científicos qué deben hacer, sirve de guía de cómo se debe complementar el núcleo central y de cómo debe modificarse el cinturón protector resultante para que un programa sea capaz de explicar y predecir los fenómenos observables (cf. Chalmers, 1982, p. 115-120).

Newton “lakatoniano”

Vimos más arriba la *deducción* de la forma matemática de la ley de gravitación desde las metáforas, pero deducir matemáticamente no es lo mismo que demostrar empíricamente. Por momentos parece que Newton va a buscar los datos confirmatorios de la hipótesis —genial— que se le ocurrió en base a la metáfora de la honda o

de la física newtoniana por su lado, está compuesto por las leyes del movimiento de Newton más su ley de la atracción gravitatoria (cf. Chalmers, 1982, p. 115-120)

3. Chalmers pone el ejemplo de Tycho Brahe que se apartó del programa copernicano al proponer que todos los planetas *excepto la Tierra* giran alrededor del Sol y que el Sol gira alrededor de la Tierra (cf. Chalmers, 1982, p. 115-120).

boleadora de Huygens, aunque él dice guiarse sólo por la observación (en las *Reglas para filosofar*, cf. Newton, 1982, p. 463) y no ceder a hipótesis. En realidad Newton es honesto al decir “no finjo hipótesis” (Newton, 1982, p. 621) pero “para atrás” pues lo dice al no poder explicar cómo es que las masas actúan gravitatoriamente “a distancia” como si una cuerda invisible las mantuviera vinculadas: “Pero hasta el presente no he logrado descubrir la causa de esas propiedades de gravedad a partir de los fenómenos, y no finjo hipótesis” (p. 621).

Observamos que los números involucrados en los cálculos (por ejemplo para la determinación del radio terrestre) tienen errores que no permiten verificar certeramente, esto es, al modo “positivo” que ha llegado hasta nosotros, la ley de la inversa del cuadrado de la distancia. Para la época —S. XVII— pensamos que fue un logro titánico de la nueva ciencia dar cifras aproximadas que se acercaban a la confirmación de la ley de la inversa del cuadrado...

La imprecisa constante G

Si a esta situación le sumamos la imprecisión en la determinación de la constante G , la situación se agrava. Algunos libros para estudiantes de ciencias e ingeniería (Resnick, Halliday & Krane, 2001, p. 387), como algunos libros de ciencia más divulgativos (Hewitt, 2007, p. 163 nota 3; Asimov, 1987, p. 159) dicen que la constante G que integra la Ley de la gravitación universal de Newton es la constante que con menos precisión se conoce de toda la física. Esto se debe a que la fuerza gravitatoria (F) en el nivel del laboratorio, esto es entre dos masas corrientes o manejables, es tan débil que según Asimov “es casi imposible de medir” (Asimov, 1987, p. 159) (para determinar G hay que determinar F).

¿Cómo llegaron los científicos del S. XVIII, con simples balanzas de torsión o comunes, a medir tal valor? Según Resnick & Halliday (1966, p. 438) la primera medida exacta fue llevada a cabo por Lord

Cavendish en 1798. Resnick, Halliday & Krane (2001, p. 387) advierten que no se sabe si en realidad G es una constante y remiten a una recopilación de George T. Gillies de 1987 para obtener una lista de referencias de las mediciones de G y de su posible dependencia con la temperatura de las masas, con el estado químico, radioactivo, electromagnético de las mismas, su posible variación con el tiempo, etc. Hemos obtenido ese reporte de Gillies (Gillies, 1982) que refuerza lo que veníamos diciendo: los esfuerzos por matematizar la atracción gravitatoria son titánicos, pero resultan aún incompletos en la determinación tanto del valor de G —debido a la presencia de incertidumbres más notables que en cualquier otra medición de una “constante” física— como de su naturaleza (al preguntar los científicos sobre esta “constante” fundamental de la física: ¿varía con el estado físico, químico, radioactivo, electromagnético de las masas? ¿Varía con el tiempo? ¿Varía con la temperatura de las masas? —cf. Gillies, 1982—. En todas estas preguntas anida la dificultad para medir la fuerza gravitatoria).

Impostaciones y éxitos

Otros libros de física dicen —sin más— que el *radio terrestre* mide “tanto” y la constante G vale “tanto” por lo que la ley de la inversa del cuadrado “se verifica” y da pie a construcciones posteriores. Pensamos en base a los datos observados que lo que ha verificado la validez de la ley universal de la gravitación no ha sido propiamente la experimentación del siglo XVII sino las consecuencias exitosas en distintos ámbitos de la dinámica que la han asumido como cierta.

Núcleo central metafórico inamovible o infalsable

Nuestra intención es marcar que la demostración de que la gravedad depende de la inversa del cuadrado de la distancia es aproximada según los datos empíricos. No ha podido ser fruto de una

inducción sino que ha sido —según lo que observamos— fruto de una construcción que adopta como *núcleo central* —inamovible o infalsable— la metáfora de la honda (sería el núcleo del *programa de investigación* según Lakatos). El exponente de la ley de gravitación es claramente para todos los fines prácticos un 2 indiscutible, pero éste no ha provenido de la empiria sino del esquema matemático geométrico que se ha trasladado desde la metáfora de la dilución del sonido o de la luz con la distancia al foco. Este 2 asocia los movimientos a trayectorias que son secciones cónicas (recordemos que para Newton en su sistema existe la presencia de un ser inteligente, Señor Dios, poderoso y Amo del universo que ha determinado la perfección de los cielos, cf. Newton, 1982, p. 619-620). Así este 2 es una muy buena aproximación y las analogías metafóricas de base geniales (honda, dilución de la luz y del sonido con el cuadrado de la distancia).

La observación dependiente de la metáfora

Queremos también marcar como la metáfora de “la honda o boleadora” le ha permitido a Newton unir los cielos y la tierra con una sola ley e ir recolectando las observaciones de la época que le permiten verificar aproximadamente su teoría. Esto es, la teoría no surge sin la mediación de la metáfora y los datos significativos lo son en la medida en que van encajando en la perspectiva teórico-metafórica. La observación depende de la metáfora —y de la consecuente teoría— y no de los datos aislados (hay una *estructura*, o un esquema de la *cantera* que por traslado metafórico establece la imagen que guiará la investigación)... No se procede de los datos a la teoría sino de la teoría a los datos y en permanente realimentación y diálogo guiada por la metáfora de base.

El no aclarar estas cuestiones transmite una idea equivocada sobre la génesis de las teorías, pensamos que el involucrar a los estudiantes en el camino de la investigación debe poner sobre la

mesa una epistemología que dé señales sobre el proceso real seguido por los científicos.

Mapa matemático y territorio físico

La disecación de la naturaleza

La Ciencia Moderna que se consolida con Galileo y Newton produce una “disecación” de la naturaleza. Hablamos desde la metáfora de la disecación para expresar que el trabajo que realizan los científicos mencionados restan realidad empírica a lo estudiado. Esto es necesario por todo lo que venimos advirtiendo sobre el conocimiento (cf. *supra*: Capítulo 2: *Apostillas sobre el modo humano de conocer, su lógica “ilógica” y lo experimentado como verdadero*) y sobre el hecho de una realidad que puede ser descrita por un número de variables o aspectos “no inferior a infinito” (Samaja, 2004, p. 53). Sobre esta disecación de la naturaleza o simplificación que se traduce en “modelos” que le restan realidad empírica traemos aquí el pensamiento de Jorge Noro expresado en el contrapunto entre Aristóteles y Galileo:

[...] los medievales de los últimos siglos adoptaron a Aristóteles precisamente por su atención a la realidad. Pero el punto flaco de Aristóteles era precisamente su excesivo empirismo que no le permitió llevar a término una teoría matemática de la naturaleza. El gran paso de Galileo [y también de Newton] consistió en atreverse a describir el mundo en términos de los que no tenemos experiencia. Estableció leyes que, en la forma en que él las estableció, nunca aparecen en nuestra experiencia actual, y que por lo tanto no pueden ser verificadas en ninguna experiencia particular, sino que son matemáticamente simples. Así abrió el camino de un análisis matemático que descompone la complejidad de los fenómenos actuales en elementos simples. [...] Transforma la naturaleza dada en una realidad manejable.

Aristóteles quiso preservar la naturaleza, salvar los fenómenos: su error fue hacer demasiado uso del sentido común. Galileo disecciona la naturaleza, nos enseña a producir nuevos fenómenos y a luchar contra el sentido común con ayuda de la matemática. (Noro, 1987, p. 33) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Esto es, el excesivo empirismo de Aristóteles le impide matematizar la naturaleza “preservando —así— los fenómenos”, la contrapartida de esta preservación de los fenómenos es la no manejabilidad de los mismos, Galileo y Newton logran la manejabilidad por la matematización o “disecación de la naturaleza” pero al precio de transportarlos a un nivel en el que no tenemos experiencia. Dice en sintonía Antonio Escohotado —el primer traductor de los *Principia* de Newton al castellano—:

Redúzcase un fenómeno a partes cada vez más simples, hasta las que admitan ecuaciones de solución exacta y única (lineales) y recompóngase luego por suma. Es un método de análisis (del griego *ana-lyo*, “des-atar”), cuyo inconveniente yace en la recomposición, pues lo aislado o desatado se ha hecho más calculable, pero guarda tanta relación con el fenómeno original como un animal vivo y otro diseccionado. Aislar mecanismos solo funciona bien para objetos como el péndulo imaginario de Galileo, que oscila en un perfecto vacío y ni siquiera produce fricción entre su fiel y su pie. En efecto, aceptar siquiera eso (por no decir las distintas densidades del aire, y sus corrientes) introduciría ecuaciones no lineales —*cualitativas*— en su comportamiento (Escohotado, 1999, p. 34-35)

La matemática de la mente divina

Ya hemos referido (cf. *supra*: Apostilla 2: *conocer es olvidar detalles y cartografiar* en el Capítulo 2) que Alfred Korzybski afirma que “el

mapa no es el territorio” (Korzybski, 1951, párr. 13 y 20 del subtítulo “Los sistemas noaristotélicos⁴ de lenguaje”), nosotros podemos preguntarnos si el “mapa” matemático de Newton coincide con el “territorio” físico. Veamos.

Por un lado, como Descartes y Galileo, Newton entiende que la naturaleza está matematizada porque ha salido de la mente de Dios (Newton, 1982, p. 617ss) y se ha encarnado (como su Verbo o su Hijo) en el mundo (cf. Kojève, 1964⁵ y 2020). Así, para Newton la geometría no parece ser una “idealización” modélica de la experiencia, es decir, algo que no existe realmente *en* la realidad, sino que para él lo geométrico parece ser algo *ínsito* en la naturaleza desde la procedencia de un dios-geómetra todopoderoso al que trae al ruedo en el Escolio General de *Principia* que ya hemos reproducido en parte (cf. *supra*: *Movimientos celestes según secciones cónicas* en Capítulo 4):

Los seis planetas primarios [principales] giran en torno al Sol en círculos concéntricos, con movimientos dirigidos hacia las mismas partes [en el mismo sentido de giro] y casi en el mismo plano. Diez lunas giran en torno a la Tierra, Júpiter y Saturno en círculos concéntricos, con la misma dirección de movimiento y casi en los planos de las órbitas de esos planetas. Pero no debe suponerse que simples causas mecánicas podrían dar nacimiento a tantos movimientos regulares [...] Este elegantísimo sistema del Sol, los planetas y los cometas sólo puede originarse en el consejo y dominio de un ente inteligente y poderoso [...] Este rige todas las cosas, no como alma del mundo, sino como dueño de los universos. Y debido a esa dominación suele llamársele señor dios, παντοκράτωρ [*pantokrátor*] o amo universal [...] Todas las cosas están contenidas y movidas en él, pero uno y otras no se afectan mutuamente. Dios nada padece por el movimiento de los cuerpos,

4. Como hemos aclarado, escrito así —sin separación entre las palabras— está en el original como una especie de calificativo.

5. *L'origine chrétienne de la science moderne*. Hay versión en español (Kojève, 2020).

y los cuerpos no hallan resistencia en la ubicuidad de dios. Se reconoce que un dios supremo existe necesariamente, y por la misma necesidad existe siempre y en todas partes. (Newton, 1982, p. 619-620) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Así Newton parece identificar mapa y territorio, al entender que la naturaleza posee la perfección producida por la perfección de su hacedor (cf. *infra*: Capítulo 11: *Marco metafísico de la ciencia contemporánea: la metáfora platónica del artesano leída por Heisenberg y la relación matemática-materia* y Capítulo 12: *Las metáforas del dios constructor de máquinas y de la emanación: dos matemáticas y la revisión de la relación materia-espacio-tiempo*).

Sobre el cómo puede la naturaleza contener la idealidad de las matemáticas, ya Alexandre Kojève (1964 y 2020) sostiene que el dogma cristiano de la encarnación⁶ ha llevado a los creyentes a pensar que una idea puede hacerse carne (cf. también Prigogine & Stengers, 2004, p. 74).

El descenso de la matemática a la física

Por otro lado, y en contra de la postura que parece identificar mapa y territorio, Newton da indicios de no confundir matemática (“mapa”) con física (“territorio”). En el Libro III Proposición XII Teorema XII por ejemplo, sabe que las leyes de Kepler son buenas aproximaciones empíricas pero no son matemáticamente exactas, ya que el Sol no se puede considerar como algo fijo (cf. Newton, 1982, p. 487). En la sección XI del Libro I hace una distinción entre el “mapa” matemático y el “territorio” físico, desde la matemática pura habla de “descender a la física” para ver si el mapa se adapta al territorio:

6. Por *Encarnación* se entiende la adopción de una forma terrenal por parte de la divinidad. La doctrina de la encarnación cristiana se basa en algunos pasajes bíblicos como el del Evangelio según Juan: “Y el Verbo se hizo carne y habitó entre nosotros” (Libro bíblico *Evangelio según San Juan*, Capítulo 1 versículo 14).

En matemáticas hemos de investigar las cantidades de las fuerzas con su proporción consiguiente en cualesquiera condiciones supuestas; luego, cuando descendamos a la física, compararemos esas proporciones con los fenómenos, para poder conocer qué condiciones de esas fuerzas responden a las diversas clases de cuerpos atractivos. Partiendo de ello podremos argumentar con mayor seguridad sobre las especies físicas, las causas y las proporciones de las fuerzas. Veamos, pues, con que fuerzas deben actuar entre sí cuerpos esféricos consistentes en partículas dotadas de poderes atractivos del modo antes mencionado; y qué tipo de movimientos se seguirán de ellas. (Newton, 1982, p. 238) (subrayado propio: H.M.)

En la Proposición VII del Libro III en la que anuncia la ley de la gravitación universal “desciende a la física” precisamente desde la sección XI del Libro I. Dice al respecto Rada en la introducción a su traducción de *Principia*:

[Newton] hace de estas secciones iniciales [se refiere a las del Libro I] un buen exponente del método heurístico newtoniano: los fenómenos no son aquí tales fenómenos sino hipótesis ideales de carácter geométrico, como por lo demás concierne a principios matemáticos. Solamente los corolarios introducen aplicaciones al mundo real, o meramente las insinúan, pero sin identificar absolutamente los fenómenos de referencia con las hipótesis formuladas en los problemas (Rada en Newton, 2011, p. 35) (aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

Concluimos que la matematización de la naturaleza en el caso de la Ley de gravitación Universal no surge *inductivamente* de las mediciones sino que se trata más bien de un “embrete matemático” (“mapa”) de la naturaleza (“territorio”) guiado por metáforas (que

serían un inicial *mapa* a seguir revistiendo de matemática para conseguir el modelo matemático o mapa acabado).

Newton es honesto en esta temática al hacer una distinción entre el “mapa” matemático y el “territorio” físico, considerando que desde la matemática pura hay que “*descender* a la física” para ver si el mapa se adapta al territorio (*Principia*, sección XI del Libro I).

Nuestra intención en este tópico es marcar que la *demostración* de que la gravedad depende de la inversa del cuadrado de la distancia es sólo aproximada según los datos empíricos. Esta ley no ha sido fruto de una *inducción* sino que ha sido fruto de una *construcción* guiada por una teoría que adopta como núcleo central la metáfora de la honda.

Aquí es pertinente recordar la metáfora de la *abeja* (cf. *supra*: *Metáfora de las hormigas, las arañas y las abejas* en el Capítulo 3), la *miel* producida por Newton tiene componentes empíricos trabajados inextricablemente⁷ con componentes teóricos figurativos materializados en las metáforas que utilizó en torno a la metáfora estrella que lo guía: la de la boleadora (cf. *supra*: Esquema N° 15 en Capítulo 4).

Es interesante remarcar que no se critica a Newton (lo cual sería hacerlo injustamente o anacrónicamente) sino a un sector de su posteridad que fácilmente olvida que hay un *descenso* y por lo tanto una *distancia* entre el “mapa” matemático y el “territorio” físico.

§. La metáfora: inteligencia, creación y comunicación

Hemos comentado (cf. *supra*: *Kantismo evolutivo* en el Capítulo 1) la necesidad de proponer tres indicadores que nos señalen la lógica de inteligencia, creación y comunicación de la metáfora. Las dos metáforas principales en la construcción de Newton y que le han

7. Cf. *infra* los subtítulos: ¿Lo “empírico” y lo “teórico” son deslindables? y ¿La metáfora en Newton es teoría o es empiria?

permitido intligir el movimiento de los planetas han sido la de Kepler sobre la dilución de la luz y el sonido (cf. *supra*: Figura N° 13 en Capítulo 4 y Figura N° 14 en Capítulo 5) y la de Huygens perfeccionada por Hooke de la “honda o boleadora” (cf. *supra*: Figura N° 12 en Capítulo 4). Estas analogías permitieron revestir la metáfora de matemática para arribar a la Ley de Gravitación Universal que establece la fuerza en función de las masas y las distancias (cf. *infra*: Anexo 3: *Revestimiento matemático de la metáfora newtoniana de la boleadora*).

Ha sido evidente que los tres indicadores están presentes en este proceso: mediante las metáforas hubo inteligencia, creación y comunicación. Hubo *inteligencia* porque se han inferido propiedades desde lo conocido, la metáfora de la honda permitió pensar en una atracción “gravitatoria”, esto es, en una fuerza que mantiene a la Luna en su órbita alrededor de la Tierra como si de una cuerda invisible se tratara. La metáfora de la dilución del sonido —por su parte— permitió, por razones geométricas, darle un valor a la dilución de esa atracción con el cuadrado de la inversa de la distancia entre las masas (concluimos que el *valor* de este indicador es positivo: *hubo* inteligencia).

También hubo *creación* porque se ligaron estructuralmente ámbitos *prima facie* ajenos como lo son la atracción gravitatoria entre cuerpos celestes con la dilución del sonido y la acción de cuerpos en revolución en el ámbito “terrestre”. (concluimos por tanto que el *valor* de este indicador es positivo: *hubo* creación). Hubo también *comunicación* porque hemos referido como explícitamente Newton menciona en *Principia* la metáfora de la honda para comunicarse eficazmente con sus lectores, y cómo en esta misma investigación la estamos empleando como medio de comunicación de realidades más abstractas o menos familiares (concluimos que el *valor* de este indicador es positivo: *hubo* eficacia comunicativa).

Más allá de las imágenes metafóricas concretas que hemos mencionado, hay en *Principia* otro aspecto metafórico “marco”: el traslado

de una estructura de talante axiomático que tiene su dominio fuente en los *Elementos* de Euclides (cf. *supra* los Esquemas N° 16 y N° 17 de Capítulo 4 donde hacemos un paralelo entre la estructuración de *Principia* con los *Elementos* de Euclides). Esta búsqueda de unidad, “con poco decir o construir mucho”, es una especie de ideal, un “canon” de la ciencia que nace con Descartes, Galileo, Huygens, Newton y que se materializa portentosamente en *Principia*.

El mismo análisis respecto de la inteligencia, la creación y la comunicación lograda cabría respecto de las metáforas presentadas en el en el Capítulo 6 (*La metáfora como inteligencia natural científica y su revestimiento matemático desde el s XVIII hasta la síntesis electromagnética de Maxwell*).

§. ¿La metáfora en Newton es teoría o es empiria?

¿Cómo distinguir lo teórico y lo empírico en la Ley de Gravitación? Los datos que selecciona Newton están cargados de su *eiségesis*, de su búsqueda confirmatoria de la genial analogía que hemos mencionado. Por lo que nos preguntamos ¿estos “datos” están siendo “directamente” observados o más bien son los “anteojos” de la analogía lo que hace reparar en ellos y esperar a que se ajusten a la teoría? Lo teórico aquí es la analogía de la honda o boleadora que postula acciones a distancia entre la tierra y la luna (por ejemplo). Esa acción a distancia no es observable como causa (ver la controversia entre Leibniz y Newton en *infra*: *La metáfora de la honda: el problema de la acción a distancia* en Anexo 2), lo observable es su efecto, por lo que constituiría un enunciado teórico según Klimovsky (1999). Lo que queremos marcar con este encadenamiento es que en la observación no hay neutralidad y que la metáfora es esencial en este proceso de construcción de datos y teoría.

La hipótesis de Newton decía que la Luna debía caer atraída por la Tierra por lo que comparó entonces la aceleración centrípeta de la Luna en su órbita y la aceleración hacia abajo de un cuerpo que

cae cerca de la superficie de la Tierra, arriesgando que deberían ser iguales... pero sus cálculos —basados en la matematización de la “gravitación universal”— no coincidían con lo esperado: lo hemos referido en *supra* (*El fracaso de la prueba lunar* en el Capítulo 5). Como dijimos allí el fracaso de la inicial “prueba lunar” se debió a que el radio de la Tierra considerado por Newton era demasiado pequeño, pero 13 años después una medición de Picard de mayor exactitud hizo que las diferencias fuesen menores (cf. *supra*: *El poder de la metáfora: un stand by de 13 años* en el Capítulo 5). En el proceso, la analogía o metáfora de la honda o boleadora sigue primando en el espíritu de Newton aunque su matematización le haya traído un primer resultado empírico no satisfactorio. El mismo Newton en el prefacio a la primera edición de *Principia*, explica que la tardanza en publicar se debió al problema de la “prueba lunar”, a que sus cálculos conforme a su teoría no se ajustaban a la realidad:

En la publicación de esta obra el excepcionalmente perspicaz eruditísimo señor Edmund Halley no sólo me ayudó a corregir los errores de imprenta y a preparar las figuras geométricas, sino que el libro únicamente ha llegado a aparecer debido a su insistencia; cuando obtuvo de mí las demostraciones sobre la figura de las órbitas celestes, me urgió continuamente a comunicarlo a la Royal Society, quien más tarde debido a su amable estímulo y a sus ruegos, me comprometió a la publicación. Pero después de haber empezado a considerar las desigualdades de los movimientos lunares, y entrado en algunas otras cosas relacionadas con las leyes y medidas de la gravedad y otras fuerzas; y las figuras que describirán cuerpos atraídos de acuerdo con leyes dadas, y el movimiento de cuerpos plurales entre sí; el movimiento de cuerpos en medios resistentes; las fuerzas, densidades y movimientos de los medios; las órbitas de los cometas y cosas semejantes, postpuse la publicación hasta haber investigado esas materias y poder enunciar todo el conjunto. Lo relacionado con

los movimientos lunares (imperfectos como son) está reunido en los corolarios de la Proposición LXVI, para evitar verme obligado a proponer y demostrar nítidamente las diversas cosas allí contenidas con un metido más prolijo de lo que el tema merecía interrumpiendo la serie de las otras Proposiciones. Algunas cosas descubiertas después que el resto preferí insertarlas en lugares menos idóneos, antes que cambiar el número de las proposiciones y citas. De corazón suplico que lo aquí expuesto pueda ser leído con indulgencia; y que mis trabajos en un tema tan difícil puedan examinarse no tanto desde la perspectiva de la censura como para remediar sus defectos. [firma:] Is. Newton, Cambridge, Trinity College. Mayo 8 1686 (Newton, 1982, p. 7) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Hemos mencionado —también— el ejemplo de Newton sobre la fuerza magnética, observando que como no era objeto de una teoría o analogía previa “consolidada” interiormente (Newton se daba cuenta que la intensidad de esta fuerza variaba según los materiales pero aparentemente no buscó la causa), él consideraba que su efecto disminuía no con el cuadrado sino con una ley cercana al cubo de la distancia, cosa a la que arribó en base a “toscas observaciones” (Newton, 1982, p. 480). Investigaciones posteriores corroboran la inversa del cuadrado y llaman a los objetos que se atraen o repelen “masas magnéticas” (cf. Maiztegui & Sábato, 1974, p. 320-321; Alonso & Finn, 1976, p. 512-513) ya en plena alineación con la búsqueda de la simetría con la ley de la gravedad de Newton y la Ley de Coulomb.⁸ ¿Cuánto habrá influido el modelo previo a estas observaciones o constataciones? (ya hemos mencionado las dificultades que presentaron a los investigadores este tipo de mediciones).

8. La masa magnética es una construcción teórica: “Sabemos que hay imanes más o menos intensos. Para expresar la diferente intensidad de los polos magnéticos se supone que en cada polo está concentrada cierta cantidad de magnetismo, cantidad a la que se llama masa magnética.” (Maiztegui & Sábato, 1974, p. 320-321).

En síntesis, nos preguntamos si lo teórico y lo empírico son hechos “deslindables” (cf. *infra*: ¿Lo “empírico” y lo “teórico” son deslindables?) porque constatamos cierta influencia del modelo teórico o analogía metafórica previa sobre la lectura de la realidad o de los “datos” confirmatorios de la misma. Por ello entendemos que hay cierta artificialidad en la división entre teoría y empiria.

XXVI. RELACIÓN MATEMÁTICA-FÍSICA

§. Número ¿ínsito en lo real o construcción mental?

La consecuencia de la matematización y de la importancia del número en todo el proceso de la ciencia moderna, quedaría sin base si la matemática y el número fueran cosas “subjetivas” (de ser así, quedarían sujetas al error y a la imperfección de las mentes humanas). Por lo que la pregunta ineludible para una ciencia que no quiere ser pura efectividad pragmática sino conocimiento es ¿qué es el número? (es decir: ¿es algo subjetivo o es algo perteneciente a la entraña de la realidad?).

Ya hemos visto (todas las veces que nos hemos referido a la dependencia con la inversa del cuadrado de la distancia) que el número 2 aparece en la matematización de la gravedad y de la fuerza electrostática como una potencia a la que se debe elevar la distancia para obtener la fuerza correspondiente. A través del recorrido efectuado por estas matematizaciones, hemos visto las dificultades planteadas para decidir si se trata “realmente” de un 2.⁹ Entendemos que la solución es un humilde reconocimiento de que un 2 “funciona” muy bien aunque no podamos asegurar que la naturaleza tenga escrito ese número en su entraña... Este tema de la matemática como ínsita en la naturaleza no es un problema baladí, porque nos lleva a preguntar ¿los números son algo que *encontramos en la realidad* (o se los *imponemos* nosotros a ésta)?

9. Cf. *supra*: El poder de la metáfora: un stand by de 13 años respecto de la Ley de gravitación en el Capítulo 5 y ¡Un libro que se anima a no confundir mapa con territorio! respecto de la simétrica Ley de Coulomb en el Capítulo 6.

Wittgenstein —estudiante de ingeniería en la Universidad de Manchester— se preguntó un día: “¿que son los números?” (son algo real o una invención)... esto lo llevó hasta el afamado matemático B. Russell quien —ante la pregunta del estudiante— le pidió que escribiera sobre el tema. Asombrado por el escrito producido, le aconsejó al —hasta entonces— estudiante de ingeniería que se dedicase a la filosofía (cf. Turnbull, 1999, p. 152).

La pregunta inicial de Wittgenstein se explicita en otras de gran importancia: ¿Dónde existen estas entidades llamadas números? ¿existen *en* la realidad extramental? ¿tienen una existencia independiente de nosotros? ¿las creamos o las descubrimos? ¿los modelos matemáticos reflejan la realidad o son meramente instrumentales?

La pregunta inicial que subsume las anteriores tiene mucha importancia, si la ciencia ha utilizado a la matemática como herramienta y funda sus conocimientos en el número, vale preguntar sobre la solidez de las matemáticas¹⁰ y sobre la solidez del “ladrillo” del número: ¿es un invento útil de la mente? ¿o la mente lo descubre escondido en lo real? Se plantea aquí el problema sobre el *realismo* o sobre el *instrumentalismo* en la vinculación de los modelos matemáticos con la realidad (que trataremos en *infra*: *Realidad y modelos matemáticos*). No preguntarse estas cosas equivale a construir un gigante con pies de barro.

10. Como lo ha hecho el famoso matemático contemporáneo Roger Penrose (cf. *infra*: *La vinculación de los tres mundos de Roger Penrose*).

§. El error de un pensamiento “puro”

Creo que ha llegado el momento de reemplazar la pregunta de Kant: “¿Cómo son posibles los juicios sintéticos a priori?”, por esta otra pregunta: “¿Por qué es necesario creer en esta clase de juicios?”. Debemos recordar que la conservación de los seres de nuestra especie necesita de estos juicios que deben ser tenidos por verdaderos, lo que no impide por supuesto que puedan ser falsos
Friedrich Nietzsche, “Más allá del bien y del mal”.

La base física de las ideas “puras” evidentes

Veremos a continuación que los axiomas evidentes de la geometría o las sentencias matemáticas experimentadas como verdaderas, se basan en un proceso que comprende al menos dos pasos: una oculta inducción o base física de lo experimentado como verdadero y un salto metafórico.

Hay una idealización en la “matematización de la naturaleza”: así como una *línea recta* existe en los *Elementos de geometría* de Euclides pero no en la realidad, así las idealizaciones de la ciencia natural producen un “mundo eidético” manejable, ajustado —como no— a la lógica del hombre, pero mundo con el que la realidad no coincide (cf. *infra*: *La física no es reducible a matemática* en Capítulo 12) sino al que ella “se aproxima” o del que es una copia distorsionada (cf. *infra*: Capítulo 11: *Marco metafísico de la ciencia contemporánea: la metáfora platónica del artesano leída por Heisenberg y la relación matemática-materia* y Capítulo 12: *Las metáforas del dios constructor de máquinas y de la emanación: dos matemáticas y la revisión de la relación materia-espacio-tiempo*).¹¹

11. Aparece aquí la doctrina de Platón sobre la hiper-realidad del mundo de las ideas y del conocimiento humano como reminiscencia o recuerdo.

Estas idealizaciones no viven —según pensadores como Einstein (cf. Einstein, 1998)— de ideas innatas, ni surgen en nuestra inteligencia como recuerdos referidos al mundo platónico (como —al menos en algún momento y con matices— pensaron los matemáticos Alfred North Whitehead, Kurt Gödel¹² o Roger Penrose, cf. Penrose, 1996, p. 110 y 380-381; Penrose, 2006, p. 61-70 y Colbert, 1971, p. 12) sino que se producen inconscientemente mediante inducción¹³ y traslado metafórico.

Que hay una inducción escondida lo marca Einstein al hablar sobre el poder de fascinación de estas idealizaciones en cuanto que convencen al espíritu de ser “verdaderas” (aunque no tengamos en última instancia como “demostrarlo”). En primer lugar, el científico marca la sensación de evidencia producida por los Elementos de Euclides:¹⁴ “Seguro que también tú, querido lector, entablaste de niño conocimiento con el soberbio edificio de la geometría de Euclides [...] y castigarías con desprecio a cualquiera que declarase falso incluso el más recóndito teoremita de esta ciencia” (Einstein, 1998, p. 13). En segundo lugar, pasa a inquirir el por qué se experimentan de ese modo: “Pero es muy posible que este sentimiento de orgullosa seguridad te abandonara de inmediato si alguien te preguntara: ¿qué entiendes tú al afirmar que estos teoremas son verdaderos?” (p. 13, subrayado propio: H.M.). En tercer lugar, Einstein establece que la

12. “Hay también diferencias de punto de vista sobre hasta qué extremo estamos dispuestos a llevar nuestro platonismo —si realmente uno afirma ser un platónico—. El propio Gödel era un gran platónico” (Penrose, 1996, p. 107).

13. Una inducción que dice basarse en “particulares” pero que lógicamente esconde una analogía o paso por el singular (cf. *supra*: *La ficción de la mera inducción* en el Capítulo 3).

14. Tanto Albert Einstein como Bertrand Russell dejaron testimonios de la fascinación que ejerció en ellos siendo niños el contacto con los *Elementos* de Euclides: “A la edad de once años —escribió Russell en el primer volumen de sus memorias—, comencé Euclides, con mi hermano como tutor. Este fue uno de los grandes sucesos de mi vida, tan deslumbrante como el primer amor. No había imaginado que existiese en el mundo algo tan delicioso” (Sánchez Ron, 2009, Cap. 1, subtítulo: La fascinación ejercida por la matemática euclidiana).

sensación de evidencia experimentada en los desarrollos se basa en lo evidente que nos resultan los conceptos básicos (*plano, punto, recta*) en los que aquellos se apoyan. Finalmente Einstein asegura que la evidencia de los elementos o conceptos básicos se basa en un principio “empírico”: solemos calificar o tener por “verdadero” a la coincidencia de nuestro pensamiento con un objeto real (hay aquí una escondida operación metafórica):

Detengámonos en esta cuestión. La geometría parte de ciertos conceptos básicos, como el de plano, punto, recta, a los que estamos en condiciones de asociar representaciones más o menos claras, así como de ciertas proposiciones simples (axiomas) que, sobre la base de aquellas representaciones, nos inclinamos a dar por “verdaderas”. Todos los demás teoremas son entonces referidos a aquellos axiomas (es decir son demostrados) sobre la base de un método lógico cuya justificación nos sentimos obligados a reconocer. Un teorema es correcto o “verdadero”, cuando se deriva de los axiomas a través de ese método reconocido. La cuestión de la “verdad” de los distintos teoremas geométricos remite, pues, a la verdad de los axiomas. Sin embargo, se sabe desde hace mucho que esta última cuestión no sólo no es resoluble con los métodos de la geometría, sino que ni siquiera tiene sentido en sí. No se puede preguntar si es verdad o no que por dos puntos sólo pasa una recta [...] El concepto de “verdadero” no se aplica a las proposiciones de la geometría pura, porque con la palabra “verdadero” solemos designar siempre, en última instancia, la coincidencia con un objeto “real” (Einstein, 1998, p. 13-14) (subrayado propio: H.M.)

Es decir, Einstein establece una base experiencial para lo que usualmente consideramos evidente o verdadero extendiendo tal principio a esos conceptos básicos “indemostrables” o elementos en los que se apoya el todo. Esto es, Einstein marca el oculto origen

empírico de ese sentimiento de evidencia frente a lo que es inde-mostrable y sentencia —además— que es fruto de experiencias muy incompletas (aquí muchos pueden ver un razonamiento inductivo pero nosotros adscribimos al razonamiento abductivo):

El que a pesar de todo nos sentimos inclinados a calificar de “verdaderos” los teoremas de la geometría tiene fácil explicación. Los conceptos geométricos se corresponden más o menos exactamente con los objetos en la naturaleza, que son, sin ningún género de dudas, la única causa de su formación. Aunque la geometría se distancie de esto para dar a su edificio el máximo rigor lógico, lo cierto es que la costumbre, por ejemplo, de ver un segmento como dos lugares marcados en un cuerpo prácticamente rígido está muy afincada en nuestros hábitos de pensamiento [...] Naturalmente, la convicción de que los teoremas geométricos son “verdaderos” en este sentido descansa exclusivamente en experiencias hartamente incompletas. (Einstein, 1998, p. 14-15) (subrayado propio: H.M.)

Que una idealización —como el concepto de *plano*, *punto*, *recta*— incline al espíritu a tomarla como real y que sea evidentemente verdadero que entre dos puntos separados sólo pase una recta, tiene —según el texto recién citado— una base experiencial “hartamente incompleta”. Hay una inducción¹⁵ desde lo empírico escondida detrás de la verdad de estas verdades axiomáticas, por esto Einstein habla de “El contenido físico de los teoremas geométricos” (Einstein, 1998, p. 13). ¿Dónde existen la recta, el punto y el plano? Son abstracciones desde la experiencia.

15. Que —reiteramos— no describimos como “mera” inducción, sino que lleva oculta una analogía o paso lógico por el singular (cf. *supra*: La ficción de la mera inducción en el Capítulo 3).

La ilusión de los juicios sintéticos a priori

El niño Einstein a la edad de 12 años quedó impactado por la lectura de un libro sobre geometría euclídea, leemos en su autobiografía de 1949 la sensación de evidencia, de claridad y de certeza que le produjo:

Esta claridad, esta certeza, ejerció sobre mí una impresión indescriptible. El que hubiera que aceptar los axiomas sin demostración no me inquietaba; para mí era más que suficiente poder construir demostraciones sobre esos postulados cuya validez no se me antojaba dudosa [...] Esta concepción primitiva, sobre la que seguramente descansa también la famosa cuestión kantiana en torno a la posibilidad de “juicios sintéticos a priori”, se basa naturalmente en que la relación entre esos conceptos geométricos y los objetos de experiencia... estaba allí presente de modo inconsciente (Einstein citado por Sánchez Ron, 2009, Cap. 1, subtítulo: La fascinación ejercida por la matemática euclidiana) (subrayado propio: H.M.)

Así, Einstein “deconstruye” los juicios *sintéticos a priori*, *sintéticos* en tanto aumentan el conocimiento, *a priori* en cuanto parecen independientes de la experiencia, como fruto de un “pensamiento puro”, pero —reflexiona el científico— esto es un error:

Si bien parecía que a través del pensamiento puro era posible lograr un conocimiento seguro sobre los objetos de la experiencia, el milagro descansaba en un error. Mas para quien lo vive por primera vez, no deja de ser maravilloso que el hombre sea siquiera capaz de lograr, en el pensamiento puro, un grado de certidumbre y pureza como el que los griegos nos mostraron por primera vez en la geometría (Einstein citado por Sánchez Ron, 2009, Cap. 1, subtítulo: La fascinación ejercida por la matemática euclidiana) (subrayado propio: H.M.)

Es decir, el error de un “pensamiento puro” es indicado por Einstein como el origen de los llamados “juicios sintéticos *a priori*”, que según se deduce de sus palabras no serían *a priori* sino un fruto, una construcción (un *ricorsi* en palabras de G. Vico, cf. Samaja, 2004, p. 134) desde inducciones previas (protagonizadas durante el *corsi*) recapituladas.¹⁶

Saltos metafóricos hacia lo universal

Dijimos al comienzo que esas verdades “*a priori*” se constituyen mediante ocultas inducción y traslado metafórico, la inducción está indicada desde la postura de Vico, y la meditación de Einstein (a raíz de su ajena al “sentido común” Teoría de la Relatividad), pero ¿dónde está el traslado metafórico? ¿Cuáles son los ámbitos ajenos conectados por el salto metafórico? Veamos un ejemplo.

El ver en un tramo del “camino” de nuestra vida varias cosas particulares “redondas” puede inducir la idea de una circunferencia o una esfera “perfecta”, a la que se puede asignar un centro y un radio (modelo matemático)... ¿Qué sucedió? Primero una inducción (que no es mera inducción):¹⁷ todas esas cosas coinciden o son análogas en una “forma” circular similar —en este reconocimiento hay un primer traslado metafórico desde una cantera de analogías—.¹⁸

16. Recordemos lo anunciado (en *supra*: *El corsi-ricorsi: la cantera de analogías y el proceso metafórico* en el Capítulo 2): en toda construcción lógica hay una fuerza demostrativa porque toda lógica es un *ricorsi* de un *corsi* protagonizado con anterioridad y en el cual la propia subjetividad se ha constituido, concepción que puede resumirse en: *lo verdadero es lo obrado* o en otras palabras: *si lo conozco es porque lo he hecho* (cf. Abbagnano & Visalberghi, 1992, p. 245-246; Samaja, 2004, p. 65-67).

17. Pues siempre hay esquemas del sujeto mediando (cf. *supra*: *La ficción de la mera inducción* en el Capítulo 3).

18. Repare el lector o la lectora que todo *re-conocimiento* es una operación metafórica que asimila lo inicialmente aun *no reconocido* a lo que ya se conoce en base a ciertas características enfocadas (en nuestros ejemplos la redondez, el radio, el centro).

Hemos dicho que todo proceso inductivo esconde en su interior un traslado metafórico que ve la conveniencia de entender que en lo igual se dan las mismas características (cf. *supra*: *La ficción de la mera inducción* en el Capítulo 3), es decir los meros inductivismos no registran el paso por el “singular” que es una síntesis entre lo particular y lo universal. Esto es, la inducción no puede hacer lo que dice que hace (obtener una REGLA universal desde la andadura por los particulares) sin la presuposición de origen metafórico que reza que en cada particular anida una esencia universal (o bien que todos estos particulares analizados, son análogos¹⁹ justamente en esa REGLA).

Luego los matemáticos (como Penrose, Gödel, Whitehead, cf. Penrose, 1996, p. 110 y 380-381; Penrose, 2006, p. 61-70 y Colbert, 1971, p. 12) postulan un —segundo— salto metafórico:²⁰ hay algo existente ideal —una circunferencia o una esfera perfecta— que es un ente que por su perfección no existe en la realidad que nos rodea y que tiene esas características “perfectas” o “ideales”: centro y radio perfectamente definidos. El salto metafórico se produce desde la realidad imperfecta a lo ideal perfecto que en términos platónicos se denomina *mundo de las ideas*. Platón reparó en que los entes reales eran una mala copia de los “ejemplares” situados en la hiper-realidad del mundo de las ideas y que aparecían en nuestra inteligencia mediante la reminiscencia o el recuerdo (según Platón el alma estuvo alguna vez allí).

En la secuencia anterior marcamos dos saltos metafóricos: uno entrañado en la inducción y otro que fundamenta las características

19. La conveniencia de suponer esta analogía es un razonamiento abductivo. Sobre la influencia de la metáfora en lógica, ver para más detalles Magnasco, 2024, Capítulo 2: *La metáfora escondida en la lógica*. Subtítulo: *La influencia de las metáforas sobre los razonamientos clásicos*.

20. Este salto basa la realidad de la matemática en la realidad objetiva del mundo de las ideas de Platón y es seguido —como dijimos— por matemáticos como Penrose y Gödel (cf. *infra*: *Naturaleza de la confluencia de la física y la matemática*).

matemáticas como existentes en un mundo extramental. Como dijimos más arriba, en la andadura familiar nosotros solemos asociar lo verdadero con cierta existencia física o hecho extramental. Este esquema “verdadero = existente fuera de nuestra mente” es el esquema que ve la conveniencia del mundo extramental eidético matemático que daría verdad objetiva a la matemática... Este traslado metafórico establece la verdad en el dominio meta.

Desde nuestra investigación, nuestra dinámica “cantera de analogías” vendría a ocupar el lugar del mundo de las ideas de Platón.

§. *Naturaleza de la confluencia de la física y la matemática*

La matematización de la naturaleza tiene que ver con este proceso de inducciones e idealizaciones, pero nos interesa en el ámbito del lenguaje usado en textos de Física para estudiantes de ingeniería, tratar la naturaleza de cierta confluencia “impostada” entre la física y la matemática.

Para Max Planck por ejemplo (cf. Planck, 1987, p. 43-44 en *supra*: *La ficción de los puntos de partida de la “lectura” sin metáforas* en Capítulo 3), la naturaleza tiene una legalidad matemática intrínseca que es congruente con la estructura racional de la mente humana. Así también lo sostienen a su modo Korzybski y Penrose (cf. *infra*: *La vinculación de los tres mundos de Roger Penrose*). Esa legalidad de la naturaleza es entonces objeto de descubrimiento, por lo que será tarea de la física teórica lograrlo. Esto es: las leyes de la naturaleza coinciden con las leyes matemáticas descubiertas por la mente humana en dicha naturaleza, en otras palabras hay una sintonía entre el mundo físico, el mundo matemático y el mundo mental.

Por lo dicho por Einstein en *supra* (*La ilusión de los juicios sintéticos a priori*) y por lo que venimos diciendo, la estructura matemática no parece residir de antemano tanto en la naturaleza como en nuestras mentes, es decir, no habría sujeto —lógico/matemático— y objeto

—lógico/matemático— dados de antemano... Dice Sánchez Ron de acuerdo con la cita de Einstein mencionada:

En principio, no parece que sea posible, por muy tentadora que resulte la idea, lograr un conocimiento seguro de los objetos de la experiencia, esto es, de la naturaleza, a través del pensamiento puro, encarnado en estructuras y razonamientos matemáticos. La matemática es, sí, un instrumento universal de conocimiento, pero tiene sus límites (Sánchez Ron, 2009, Cap. 1, subtítulo: Sobre física y matemática)²¹

En nuestra investigación sostenemos que el límite señalado en la cita anterior está dado en el hecho de que la naturaleza no tiene una legalidad *ajustada* a la inferencia de la inducción ni una legalidad *ajustada* a nuestra interrogación o idealización matemática, justamente por ser un traslado metafórico el que cubre el salto entre la realidad natural y la idea matemática o geométrica (residente en nuestra cantera de analogías o bien en el mundo platónico de las ideas puras, cf. *infra*: *La física no es reducible a matemática* en el Capítulo 12).

Sánchez Ron trae la postura del científico británico Paul Dirac, uno de los físicos más destacados del siglo XX:²²

Dirac no compartía totalmente la opinión de Einstein, según la cual es un error pensar que es posible lograr, de manera sistemática, un

21. Además, ya hemos señalado que puede ser pernicioso tratar de matematizar todo lo que se pone a tiro (cf. *supra*: Apostilla 8: “la influencia perniciosa de la matemática en ciencia” en el Capítulo 2).

22. Recuerda Sánchez Ron que entre sus aportaciones se encuentra “una de las formulaciones más fecundas y elegantes de la mecánica cuántica, y la ecuación relativista del electrón, de la que surgió, como consecuencia casi inevitable, la predicción de la existencia de la antimateria” (Sánchez Ron, 2009, Cap. 1, subtítulo: Sobre física y matemáticas).

conocimiento seguro sobre los objetos de la experiencia mediante el pensamiento matemático puro. Para él, en su estudio de los fenómenos naturales el físico tiene dos métodos para progresar: uno, el de experimento y observación, y otro, el de razonamiento matemático. El primero es, escribió en un artículo publicado en 1938-1939 (*"The relation between mathematics and physics"*), "simplemente la reunión de datos selectos", mientras que el segundo "nos permite inferir resultados de experimentos que no se han realizado". "No existe —añadía— razón lógica por la que el segundo método tenga que ser posible, pero se ha demostrado en la práctica que funciona con notable éxito. Esto debe adscribirse a alguna cualidad matemática en la naturaleza, una cualidad que el observador ocasional de la naturaleza no sospecharía, pero que sin embargo desempeña un importante papel en el esquema de la misma (Sánchez Ron, 2009, Cap. 1, subtítulo: La fascinación ejercida por la matemática euclidiana) (subrayado propio: H.M.)

La cualidad matemática *en* la naturaleza (ínsita) señalada por Dirac en la cita recién referida, es algo intrínseco, es decir, no es algo añadido por el investigador sino algo que el mismo extrae de la entraña de lo real (en esto es cercano a la postura de Max Planck —cf. Planck, 1987, p. 43-44— y a los herederos de la idea al respecto de Galilei y Newton: "la naturaleza es un libro escrito en caracteres matemáticos". Así, el proyecto de una matematización de la naturaleza produce éxitos que conducen a pensar en una "convergencia" de la física y la matemática, en una coincidencia de mapa y territorio (de algún modo se da el éxito de la lógica trascendental de Wittgenstein y del racionalismo que afirma que lo matemático es racional y lo racional es real). Sánchez Ron cita a Dirac:

La matemática pura y la física están relacionadas cada vez más estrechamente, aunque sus métodos continúan siendo diferentes. Se puede describir la situación diciendo que el matemático

practica un juego en que él mismo inventa las reglas, mientras que el físico practica un juego en el que la naturaleza proporciona las reglas, pero que según transcurre el tiempo se hace cada vez más evidente que las reglas que el matemático encuentra interesantes son las mismas que las que ha escogido la naturaleza. Es difícil predecir cuáles serán los resultados de todo esto. Posiblemente, las dos materias se unificarán en última instancia, teniendo entonces su aplicación física toda rama de la matemática pura, cuya importancia en la física será, por otra parte, proporcional al interés que tenga en la matemática (Dirac citado por Sánchez Ron, 2009, Cap. 1, subtítulo: La fascinación ejercida por la matemática euclidiana) (subrayado propio: H.M.)

Para los que sostienen —como Planck— que hay una legalidad intrínseca, “encarnada” en la naturaleza, las leyes de la naturaleza son un subconjunto de las leyes matemáticas y según Dirac posiblemente se unificarán, lo cual equivale a decir que las leyes matemáticas que aún no tienen aplicación física, algún día la tendrán, señala Sánchez Ron que según Dirac: “todavía no se han descubierto todos los fenómenos naturales a los que aguarda su estructura matemática”. (Sánchez Ron, 2009, Cap. 1, subtítulo: La fascinación ejercida por la matemática euclidiana). Esto coincide con la postura racionalista que dice que todo lo real es racional y que todo lo racional es real.

Pero la matemática no resultó en el SXX todo lo racional y lógica que prometía ser ¿la física no será entonces todo lo lógico y racional que su emparentamiento matemático prometía? Bertrand Russell y Alfred Whitehead (1861-1947) emprendieron la tarea de reducir la matemática a la lógica en su obra *Principia Mathematica* (3 tomos: 1910, 1912, 1913), pero Kurt Gödel demostró que en toda construcción axiomática fallaba la “lógica”, esto es, para cada uno de ellos puede construirse una sentencia lógico-matemática que es “indecidible” desde el propio sistema, es decir, no se puede decidir si es verdadera

o falsa²³ (cf. su artículo: “Sobre sentencias formalmente indecidibles de *Principia Mathematica* y sistemas afines” de 1931 en Gödel, 2006, p. 53-87):

A pesar de los logros innegables alcanzados en *Principia Mathematica*, a la postre no logró alcanzar su meta. El propio Russell comenzó, algunos años más tarde, a dar señales de que su fe reduccionista disminuía; él, que tan apasionadamente había defendido la visión logicista y apriorística de la matemática, pasó a sostener la tesis opuesta, empirista, según la cual la matemática no era diferente a, por ejemplo, las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo: “ambas —manifestó en 1924— se aceptan debido a que se observa que algunas de sus consecuencias lógicas son ciertas”. (Sánchez Ron, 2009, Cap. 1, subtítulo: Crisis en los fundamentos de la matemática.) (subrayado propio: H.M.)

Desde su platonismo Gödel advertía lo lejano que están los objetos matemáticos de la percepción sensorial, sin embargo —en consonancia con la postura de la reminiscencia— la evidencia de axiomas se le presentaba como una percepción o intuición a la que no había que concederle menos importancia física que a la percepción sensorial:

Pero, a pesar de lo remotos que se encuentran de la experiencia sensorial, nosotros poseemos algo así como una percepción

23. Hay que aclarar que Gödel con sus teoremas de incompletud de los sistemas formales no pretendió establecer limitaciones en el poder del razonamiento humano sino que con ellos demostraba “que la clase de razonamiento necesario en matemática no puede ser mecanizado totalmente” (carta de Gödel a D. Plummer del 31 de Julio de 1967 citada por Sánchez Ron, 2009, Cap. 1, subtítulo: Límites en la matemática: Kurt Gödel), Gödel cree que la mente humana no es estática, no es reducible a un sistema cerrado.

también de los objetos de la teoría de conjuntos, como se ve del hecho de que la verdad de los propios axiomas se nos hace evidente. No veo ninguna razón de por qué debamos tener menos confianza en este tipo de percepción, esto es, en la intuición matemática, que en la percepción sensorial, que nos induce a construir teorías físicas y a esperar que futuras percepciones sensoriales estén de acuerdo con ellas, y, más aún, a creer que una cuestión no decidible ahora tiene sentido y puede ser decidida en el futuro. (Gödel, artículo: ¿Cuál es el problema del continuo de Cantor? citado en Sánchez Ron, 2009, Cap. 1, subtítulo: Límites en la matemática: Kurt Gödel)

Como observamos, en los grandes matemáticos y físicos hay dos posturas: los que tienden a una confluencia de la matemática y de la física mediante una especie de “armonía preestablecida” (fundamento *a priori*) en donde el punto de partida y de llegada (pasando por lo físico) es el mundo matemático (K. Gödel, P. Dirac, 1er. B. Russell, M. Planck, R. Penrose) mientras que para otros el mundo matemático es construido desde lo empírico (A. Einstein, L. Infeld, último B. Russell).

La vinculación de los tres mundos de Roger Penrose

El físico-matemático inglés Roger Penrose²⁴ —como los grandes científicos— abarca cuestiones epistemológicas al preguntarse: ¿dónde reside la matemática como cosa *objetiva* que es? La pregunta es importante pues si la matemática carece de fundamento extra-matemático o no es objetiva, queda reducida a una construcción subjetiva con la consiguiente sujeción a error y a imperfección. Además si la matemática es subjetiva y dudosa, la realidad descrita por los

24. Roger Penrose es un físico matemático británico, profesor emérito de Oxford, conocido por sus investigaciones en geometría, relatividad, redes no periódicas, los fundamentos de la mecánica cuántica y la teoría del conocimiento.

modelos matemáticos hereda esa misma subjetividad e incertidumbre. La respuesta de Penrose es que la matemática reside en la realidad externa y eterna del mundo platónico:

No he ocultado mis fuertes simpatías por el punto de vista platónico de que la verdad matemática es absoluta, externa y eterna, y no se basa en criterios hechos por el hombre; y que los objetos matemáticos tienen una existencia intemporal por sí mismos, independiente de la sociedad humana o de objetos físicos particulares [...] Imagino que siempre que la mente percibe una idea matemática toma contacto con el mundo platónico de los conceptos matemáticos. (Recordemos que, según el punto de vista platónico, las ideas matemáticas tienen una existencia propia, y habitan en un mundo ideal que sólo es accesible por la vía del intelecto.) Cuando “vemos” una verdad matemática, nuestra conciencia irrumpe en este mundo de ideas y toma contacto directo (“accesible por vía del intelecto”) [...] Cuando los matemáticos se comunican, esto se hace posible porque cada uno tiene un camino directo a la verdad, estando su conciencia en disposición de percibir directamente las verdades matemáticas a través de estos procesos de “visión”. (De hecho, este acto de percepción va acompañado a menudo de expresiones como “¡ah, ya veo!”) (Penrose, 1996, p. 110 y 380-381)

Este mundo platónico matemático está —según Penrose— misteriosamente vinculado al mundo mental (que es “capaz de irrumpir” en ese mundo perfecto y eterno) y también al mundo físico. Aclara Penrose que el mundo físico responde en su legalidad matemática a un subconjunto de este mundo matemático (cf. Penrose, 2006, p. 61-70). Es decir, para Penrose sólo una parte del mundo matemático es suficiente para abarcar toda la legalidad matemática del mundo físico. Esto es: por un lado, no hay nada del mundo físico que escape a lo matemático (ni

la biología, ni lo aleatorio, etc.) y por otro lado hay una matemática que está más allá de la determinación o descripción del mundo físico, porque este mundo matemático platónico no es agotable:

Existe en el mundo matemático platónico y exacto tanto misterio y belleza como pudiéramos desear, y la mayor parte de este misterio reside en conceptos que están fuera de esa parte relativamente limitada en la que residen los algoritmos y la computación [incluye Penrose aquí todo lo que pudiéramos imaginar en el mundo matemático analítico y del Cálculo numérico asistido por ordenadores] (Penrose, 1996, p. 397) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Como observamos en la cita referida el mundo mental está vinculado a los otros dos pero dependiente de ellos en sus construcciones matemáticas y físico-matemáticas. Para Penrose la mente es capaz de abarcar la totalidad de ese mundo platónico aunque todavía falte mucho por conocer.

Ya hemos mencionado al referirnos a la postura metafísica de Planck, que estaba implícita en este importante científico una armonía entre el mundo matemático, el mundo físico y el mundo mental. Esto también había sido manifestado por Alfred Korzybski en *Science and Sanity* (Korzybski, 1994). El Capítulo XVIII se titula: “Matemática como un lenguaje similar a la estructura del mundo” (p. 247-267, traducción propia: H.M.) y el XIX: “Matemática como un lenguaje similar a la estructura del sistema nervioso humano” (p. 268-314, traducción propia: H.M.), es decir, Korzybski como Penrose enlaza tres mundos: el matemático, el mental y el físico.

Penrose utiliza una representación gráfica de sus tres mundos y sus relaciones (cf. Penrose, 2006, p. 61), formando una especie de triángulo cuyos vértices son los tres mundos y sus lados las relaciones entre ellos. El orden que el físico-matemático inglés ha

dado mediante flechas y números indica que el mundo matemático determina totalmente al mundo físico y el mundo físico determina al mundo mental, el que a su vez “escudriña determinando objetivamente” el mundo platónico. Penrose afirma en síntesis que la matemática no depende de la mente en cuanto que existe desde siempre en el mundo platónico, pero que depende de la mente en cuanto a su “desocultamiento” o conocimiento (cf. *supra* cita de Penrose, 1996, p. 380-381).

Mirando el esquema propuesto por Penrose, observamos que él sale del “círculo encantado” del sujeto (mundo mental) y del objeto (mundo físico) mediante un tercero (el mundo matemático) explicando lo que en esta investigación hemos llamado “la contradicción interna de la ciencia” (Samaja, 2004) y su paradójica superación desde el platonismo y la teoría de la reminiscencia —bautizada como intuicionismo—, hay según Penrose una infusión quasi-divina en la mente de la realidad matemática universal: “La noción de verdad matemática va más allá del concepto global de formalismo. Hay algo absoluto e ‘infuso’ en la verdad matemática. De esto trata el platonismo matemático [...] La verdad matemática real va más allá de las simples construcciones humanas” (Penrose, 1996, p. 106).

Penrose reconoce que tradicionalmente el mundo platónico contiene también la belleza y la bondad, aquí roza los clásicos trascendentales del ser: todo ser es uno, verdadero, bueno y bello. De hecho modifica su esquema de los tres mundos, rodeando al mundo platónico matemático con dos “aureolas” que etiqueta: “belleza” y “moral” (cf. Penrose, 2006, p. 1377), es decir, la verdad matemática vive en el seno de la belleza y la bondad. Así, interesado en la relación matemática con el mundo y con la mente reconoce que la verdad matemática y la belleza están relacionadas.

Respecto de esta cuestión quasi-mística sobre un ir “más allá de las construcciones humanas” encontrando belleza y bondad infundidas en la verdad matemática, recordamos lo dicho por

Halliday y Resnick en su conocido libro para estudiantes de ingeniería, “Física II”:

Todas las ecuaciones de la física que sirven, como éstas [se refiere a las 4 de Maxwell], para correlacionar experimentos en una vasta área y para predecir nuevos resultados tienen en sí una cierta belleza que puede ser apreciada, desde un nivel estético, por quienes las entienden. Lo mismo se puede decir de las leyes de Newton del movimiento, de las leyes de la termodinámica, y de la teoría de la relatividad y de las teorías de la física cuántica. Con respecto a las ecuaciones de Maxwell, el físico alemán Ludwig Boltzmann (citando una línea de Goethe) escribió: “un dios fue quien escribió estas líneas” (Halliday & Resnick, 1977, p. 1347-1348)

Este aspecto quasi-divino experimentado en la belleza y simplicidad de las ecuaciones más logradas de la física, será retomado en el Capítulo 8.

La metáfora de un mundo ideal y perfecto

El propósito de los tres mundos del matemático Roger Penrose es responder a las preguntas: ¿Cómo garantizar la verdad de las matemáticas? y ¿cómo garantizar que la matematización de la naturaleza es objetiva?

Respecto de la adhesión que inducen en el espíritu los axiomas o postulados de la geometría Euclídea, adhesión que se traduce en considerarlos “verdaderos”, dice Penrose:

La geometría euclídea es una estructura matemática específica, con sus propios axiomas específicos (incluidas algunas afirmaciones menos seguras conocidas como postulados), que proporciona una excelente aproximación a un aspecto

concreto del mundo físico. Este era el aspecto de realidad, muy familiar para los antiguos griegos, que remitía a las leyes que gobiernan la geometría de los objetos rígidos y sus relaciones con otros objetos rígidos cuando se movían en el espacio tridimensional. Algunas de estas propiedades eran tan familiares y autoconsistentes que tendían a ser consideradas como verdades matemáticas “evidentes” y se tomaban como axiomas (o postulados). (Penrose, 2006, p. 52)

Pero sin embargo, hay otras entidades matemáticas que también resultan “verdaderas” pero contradicen a las euclídeas:

Como veremos [...] la relatividad general de Einstein —e incluso el espaciotiempo minkowskiano de la relatividad especial— proporciona geometrías para el universo físico que son diferentes de, e incluso más precisas que, la geometría de Euclides, pese al hecho de que la geometría euclídea de los antiguos era ya extraordinariamente precisa. Así pues, a la hora de considerar afirmaciones geométricas debemos tener cuidado si confiamos en los “axiomas” como si fueran, en cualquier sentido, realmente verdaderos. (Penrose, 2006, p. 52)

Entonces ¿qué significa “verdadero” en el contexto de las matemáticas? Una respuesta la dio Einstein (Einstein, 1998, p. 14-15, cf. *supra*: *La base física de las ideas “puras” evidentes*) a partir de inducciones desde la experiencia física de todos los días. Pero si las matemáticas están basadas en inducciones o experiencias harto incompletas como dice Einstein, resultan ser como un gigante con pies de barro. Para salvar este inconveniente Penrose recurre a Platón:

Pero ¿qué significa “verdadero” en este contexto [de las matemáticas]? La dificultad fue apreciada por el gran filósofo griego Platón, que vivió en Atenas desde c. 429 hasta 347 a.C.,

aproximadamente un siglo y medio después de Pitágoras. Platón dejó claro que las proposiciones matemáticas —las cosas que podían considerarse como incuestionablemente verdaderas— no se refieren a objetos físicos reales (como los cuadrados, triángulos, círculos, esferas y cubos aproximados que podrían construirse con marcas en la arena, o con piedra o madera), sino a ciertas entidades idealizadas. Él imaginaba que esas entidades ideales habitaban en un mundo diferente, distinto del mundo físico. Hoy día podríamos llamar a este mundo el mundo platónico de las formas matemáticas. Las estructuras físicas, tales como los cuadrados, los círculos o los triángulos recortados en papiro, o marcados en una superficie plana, o quizá los cubos, los tetraedros o las esferas esculpidas en mármol, podrían ajustarse estrechamente a estos ideales, pero solo de forma aproximada. Los cuadrados, cubos, círculos, esferas, triángulos, etc., matemáticos reales no serían parte del mundo físico, sino que serían habitantes del mundo platónico de las formas matemáticas idealizadas. (Penrose, 2006, p. 52-53)

Penrose es fiel a Platón, sabe que el mapa matemático no coincide con el territorio físico, así señala que estos modelos ejemplares no coinciden con la realidad y cualquier modelo matemático tendrá realidad en el mundo platónico pero no se realizará acabadamente en la realidad:

Esta era una idea [de Platón] extraordinaria para su época, y ha resultado ser una idea muy fecunda. Pero ¿existe realmente el mundo matemático platónico, en cualquier sentido significativo? Muchas personas, incluidos los filósofos, podrían considerar que un “mundo” semejante es una completa ficción, un mero producto de nuestra imaginación desbordante. Pese a todo, el punto de vista platónico es inmensamente valioso. Nos dice que

debemos ser cuidadosos en distinguir las entidades matemáticas precisas de las aproximaciones que vemos a nuestro alrededor en el mundo de los objetos físicos. Más aún, nos proporciona el esquema con el que ha procedido la ciencia desde entonces. Los científicos propondrán modelos del mundo —o, mejor, de ciertos aspectos del mundo— y estos modelos pueden ser puestos a prueba frente a observaciones previas y frente a los resultados de experimentos cuidadosamente diseñados. Los modelos se juzgan apropiados si sobreviven a este examen riguroso y si, además, son estructuras con consistencia interna. Para nuestra discusión actual, el punto importante en estos modelos es que son básicamente modelos matemáticos puramente abstractos. En particular, la cuestión misma de la consistencia interna de un modelo científico requiere que el modelo esté especificado de forma precisa. La precisión requerida exige que el modelo sea matemático, pues de lo contrario no se puede estar seguro de que estas preguntas tengan respuestas bien definidas. (Penrose, 2006, p. 53) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Penrose quiere dar una respuesta a la pregunta ¿Dónde residen los modelos que han sido puesto a prueba y han sobrevivido? Su respuesta es en el mundo platónico, es la única forma de garantizar que la ciencia no sea “un gigante con pies de barro” o fundada en nuestras imprecisas mentes:

Si hay que atribuir algún tipo de “existencia” al propio modelo, entonces dicha existencia está localizada dentro del mundo platónico de las formas matemáticas. Por supuesto, se podría adoptar un punto de vista opuesto: que el modelo va a tener existencia solo dentro de nuestras diversas mentes, antes que aceptar que el mundo de Platón sea en algún sentido absoluto y “real”. Pese a todo, se gana algo importante al considerar que las estructuras matemáticas poseen una realidad por sí

mismas. En efecto, nuestras mentes individuales son notoriamente imprecisas, poco fiables e inconsistentes en sus juicios. La precisión, fiabilidad y consistencia que requieren nuestras teorías científicas exige algo más allá de cualquiera de nuestras mentes individuales (poco dignas de confianza). En las matemáticas encontramos una solidez mucho mayor que la que puede localizarse en cualquier mente concreta. ¿No apunta esto a algo exterior a nosotros mismos, con una realidad que está más allá de lo que cada individuo puede alcanzar? (Penrose, 2006, p. 53)

§. *La metáfora del artesano*

La relación entre matemática y física tiene una larga cadena de metáforas que permiten conceptualizarla, una de mucho peso es la metáfora del artesano que consideramos pertinente tratar por su importancia en los capítulos 11 y 12.

XXVII. REALIDAD Y MODELOS MATEMÁTICOS

§. *Perspectivas realista e instrumentalista*

Respecto de las analogías y de los revestimientos lógicos matemáticos que terminan siendo modelos, Herrero (2012) rescata dos posiciones en cuanto a la vinculación de ellos con la realidad: la concepción *realista* y la concepción *instrumentalista* de estas “representaciones” que son los modelos. Einstein —por ejemplo— adhiere a la posición realista de acuerdo a la cual el modelo matemático es una descripción del mundo natural, da a conocer en su funcionamiento el mundo natural, pero sin entender que tal modelo o descripción sea una “copia fiel” de la realidad, dice Herrero al respecto:

Sin embargo, esta concepción realista no implica que dicha representación sea una copia fidedigna de la realidad, sino que debe ser construida por la razón para dar cuenta de los hechos observados. De acuerdo con este planteamiento, sería posible conocer el mundo natural a través de tales representaciones o modelos científicos. A partir de aquí, la filosofía de la ciencia se ocuparía en señalar hasta qué punto la ciencia es capaz de conocer la realidad de los fenómenos naturales que se observan y cómo se pueden describir mediante las teorías científicas. (Herrero, 2012, p. 79)

En el lado opuesto del enfoque realista se halla la posición instrumentalista:

Según esta posición filosófica, “las teorías científicas *no son más que instrumentos* para el cálculo y la predicción de los fenómenos

inminentes. No describen el mundo ni aspecto alguno de él. No pueden hacerlo porque están *completamente faltas de sentido*".²⁵ De este modo, el enfoque instrumentalista adjudica a las teorías científicas el papel de meras herramientas de cálculo, sin ningún trasfondo interpretativo posible que las vincule a la realidad física. Con ello, la ciencia cumple con la mera función de construir artefactos matemáticos con una exclusiva finalidad práctica, tales como hacer predicciones y desarrollar aplicaciones técnicas. (Herrero, 2012, p. 79-80) (nota al pie de Herrero)

Ambas concepciones no son del todo antagónicas en el sentido que comparten la idea de que la ciencia es una construcción racional realizada a partir de "los datos" observados. El antagonismo entre ambas sin embargo existe y consiste en que, el realismo atribuye una capacidad cognoscitiva a las teorías científicas, mientras que el instrumentalismo se la niega. Para este último, las teorías científicas no son capaces de dar a conocer las entidades que forman el mundo empírico, ni pueden expresar las interacciones que se producen entre ellas. Por el contrario, el realismo admite que las teorías científicas proporcionan algún tipo de conocimiento acerca de las entidades naturales y de sus operaciones (cf. Herrero, 2012, p. 80).

Como ejemplo de la posición realista pero que trata de no confundir modelo y realidad, y que incluso advierte al lector que es él mismo el que deberá decidirse por la posición realista o instrumentalista respecto del modelo de líneas de campo, traemos los dichos del libro para universitarios de Taussig Scott (1969), las "líneas de campo magnético" imaginadas por primera vez por Faraday y generalizadas luego para el campo eléctrico y electromagnético ¿son sólo imaginarias o existen en realidad?:

25. Nota de Herrero: "Popper, K., *Realismo y el objetivo de la ciencia. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*. 1998, vol. 1: 147 [Cursiva en el original]".

Al introducir el concepto del campo [...] No necesitamos decir en este punto acerca de si [el campo eléctrico] existe como una entidad real independiente. El lector puede estimar que es real o que es un medio conveniente para el cálculo, aunque el cálculo [...] sobre el transporte de energía y momento por los campos electromagnéticos dará una fuerte presunción de que los campos están allí realmente (Taussig Scott, 1969, p. 30)

La posición realista fuerte tiende a confundir el mapa con el territorio, dice Hacking:

El realismo científico dice que las entidades, los estados y los procesos descritos por teorías correctas realmente existen. Los protones, los fotones, los campos de fuerza y los hoyos negros son tan reales como las uñas de los pies, las turbinas, los remolinos de una corriente y los volcanes (Hacking, 1996, p. 39) (subrayado nuestro: H.M.)

El “antirrealismo” o instrumentalismo más bien se inclina por una posición en la que la realidad “en sí” queda fuera del conocimiento, restringiendo este conocer a un nivel económico y útil: “las teorías son a lo mucho legítimas, adecuadas, buenos instrumentos de trabajo, aceptables [...]” (Hacking, 1996, p. 46) pero en el fondo dice Hacking que estos instrumentos son “increíbles, o qué sé yo” (p. 46), refiriéndose —en nuestro lenguaje— a que no podemos confundir el mapa o modelo matemático con el territorio físico.

XXVIII. INFLUENCIA DE LA HISTORIA EXTERNA

§. *¿Descubrimiento o validación encubierta?*

El contexto de descubrimiento considerado no científico es el más explícitamente vinculado con el mundo externo o historia externa a la ciencia. Allí funcionan las analogías halladas por vía metafórica y que constituyen una primera inteligencia de los fenómenos estudiados.

Los orígenes de la Nueva Ciencia se gestan “desde afuera”, su capacidad de ver de un modo nuevo no se da *desde* los mismos fenómenos observados. Hay un cambio de perspectiva, unas nuevas categorías conceptuales que se fueron preparando desde afuera; lo *positivo* era algo que se necesitaba incorporar al caerse el fundamento *verbalista* de la autoridad Filosófico-Teológica. El Renacimiento pone al hombre como centro del cosmos y este creador comienza a buscar en sí mismo (no en la autoridad externa) las herramientas del conocimiento y de lo verdadero (cf. Nicolás de Cusa, 2003²⁶).

La metáfora de la *abeja* de Bacon que hemos ya referido resume muy bien el espíritu de la época: la abeja no es como la araña que sólo produce desde su interior la telaraña (la filosofía verbalista) sino que recoge materiales de las flores —analogía con el hombre

26. Como ya hemos referido, en *Acerca de la Docta Ignorancia* el cusano (Nicolás de Cusa, 2003) establece que el hombre siempre que aprende algo lo hace mediante algún tipo de proporción entre lo que ya conoce y lo que quiere conocer. Samaja dice que esta afirmación de Nicolás de Cusa constituye un “principio absoluto del conocimiento” (Samaja, 2004, p. 138). Agregamos que este es un principio de conocimiento personal significativo que abandona el conocimiento por autoridad y que prepara —como afirman Abbagnano & Visalberghi— el terreno a una concepción del mundo físico que preludia directamente a la de Copérnico, Kepler, Galileo y Newton (cf. Abbagnano & Visalberghi, 1992, p. 160).

de ciencia que toma de la empiria— pero para transformarlos a esos materiales empíricos por una virtud que le es propia —la inteligencia produce la transformación de la empiria en conocimiento científico—.

La confianza en la razón lleva a interrogar a las cosas y Galileo y Newton —con el lenguaje que filósofos/matemáticos como Descartes habilitan— descubren que la matematización es posible y fructífera. Descartes, Bacon, Galileo, Newton no comienzan su camino “desde cero”, como descubriendo algo nuevo, sino que asumen y desarrollan lo que se ha ido gestando desde fuera. Para ellos el fundamento de la matematización de la naturaleza se basa en una verdad teológica (un Dios *legislador, matemático y creador* del mundo, cf. *infra*: Capítulo 12) apoyada por la metáfora del “constructor de máquinas” (a Dios se lo conoce por analogía expresa Santo Tomás de Aquino o analógico-metafóricamente, cf. Cúnsulo, 2017), aquel que aplica la matemática a la máquina que construye (cf. *infra*: Capítulo 12).

Muchas veces se pensó que la ciencia era “un mundo aparte” del resto del mundo, la historia de la ciencia era —sin más— historia *interna*, concebida como un avance gradual y acumulativo hacia la solución de los problemas teóricos internos a cada disciplina (así lo presentan en general los libros de texto). Pero hoy se concibe a la historia de la ciencia influenciada por el contexto exterior a la misma, fuertemente condicionada por el “imaginario social”²⁷ o

27. Según Esther Díaz (1996, p. 13-21) el “imaginario social” es un conjunto de representaciones compartidas por una comunidad, grupo, cultura; es una matriz de aspiraciones, de sentimientos, de ideas, de expectativas, de formas de ver las cosas, de sentir, de valorar que está “bien” y qué “está mal”, que “es lindo” y que “es feo” y que reúne en una especie “de sintonía” a los miembros de un grupo y los distingue de los demás en una época y región. Este “imaginario social” es el efecto de una compleja red de relaciones entre discursos y prácticas sociales. Cada individuo nace ubicado dentro de un imaginario que lo va “forjando”, que le va dando “líneas maestras” a su mundo simbólico, si bien no hace de él “un robot” hay que reconocer que lo condiciona fuertemente confiriéndole esquemas

“concepción del mundo”, la cual tiene ventajas y desventajas, abre mundos pero también cierra mundos.²⁸

para valorar y para ver las cosas de un determinado modo, es decir, para construir su realidad desde esquemas particulares y formales de inteligibilidad. Este imaginario tiene una dimensión interior y otra exterior al individuo, dimensiones que establecen una dialógica: si bien el imaginario es una especie de tradición viva en los individuos, adquiere independencia respecto de los sujetos al instalarse o encarnarse en las distintas instituciones que componen la sociedad (“lo instituido”). Cornelius Castoriadis (2013) se preguntó qué es lo que mantenía unido a un grupo o sociedad y encontró que se trataba de un entramado de significaciones sociales al que llamó imaginario social eficaz, lo instituido, pero también reconociendo un imaginario social radical que designa lo instituyente, que se tensiona, cuestiona lo viejo y da lugar a lo nuevo. Edgard Morin (1992 y 1999), por su parte, habla de un *Imprinting* cultural que es una especie de marca, de sello interior que impone la presión cultural, es la dimensión interior de “lo instituido”. Lo que el imaginario social imprime o forja en el individuo transformándolo en miembro del cuerpo social, lo consideramos desde el marco de esta investigación asimilable al imaginario social eficaz de Castoriadis. Imaginario Social es la dimensión exterior de “lo instituido”, “exterior” en el sentido de supraindividual, o que “ya está allí” cuando el individuo nace, la consideramos parangonable a la expresión “concepción del mundo” y a la expresión de Morin “imaginario colectivo” (1992, p. 19). “Mundo simbólico” es la interiorización particular en cada individuo en el que ingresa lo supraindividual de lo instituido más lo individual e irrepetible de su única trayectoria existencial, es la grieta por donde brota el poder instituyente (asimilable al “imaginario social radical” de Castoriadis, cf. Castoriadis, 2013, Segunda Parte).

28. Morin al hablar del *imprinting* cultural (1999, p. 10 y 1992, p. 28) marca su connotación negativa, ya que esa inevitable marca o sello interior impresa por la presión cultural, primero operando desde la familia y luego desde la cultura educativa, da lugar a un conformismo cognitivo y a una normalización “que elimina lo que ha de discutirse” (Morin, 1999, p. 10). Lo que obedece al *imprinting* y a la norma es “lo verdadero”, y cita a Feyerabend: “la apariencia de la verdad absoluta no es nada más que el resultado de un conformismo absoluto” (Morin, 1992, p. 30). Notemos que el *imprinting* tiende a eliminar la discusión fructífera y la apertura a la novedad. Por eso brega por el diálogo, por una “dialógica cultural” (Morin, 1992, p. 30) que es la pluralidad de los puntos de vista puestos en juego en un diálogo donde las ideas antagónicas y concurrentes se vuelven al mismo tiempo complementarias, lo intenso y rico del debate crea condiciones de auto-

Todo descubrimiento —o la capacidad de ver algo nuevo— lleva implícito un nivel de justificación que se ha ido gestando desde fuera, Javier Flax dice:

Para descubrir algo, para captar un fenómeno nuevo, las categorías conceptuales deben estar preparadas de antemano [diríamos que debe haber analogías pertinentes en la “cantera de analogías” (Samaja)], de lo contrario se lo asimilará a [*se lo confundirá con*] lo ya conocido o se lo desconocerá. Por ello es erróneo pensar como lo hacen los positivistas, que algo primero se descubre [*como si la interioridad no jugara ningún papel*] y luego se justifica. Esta es una ingenuidad que desconoce que en el descubrimiento [*en el momento de “Eureka”*] ya se haya incorporada la justificación. Incluso descubrimientos súbitos y accidentales como los rayos X no se comprenden inmediatamente. A lo sumo se registra que sucedió algo raro, pero de allí al descubrimiento efectivo hay un trecho. (Flax, 1996, p. 48) (subrayado y aclaración interpretativa entre corchetes propios: H.M.)

Esto significa que un descubrimiento no es algo inmediato y puntual: “la frase ‘el oxígeno fue descubierto’ induce a error, debido a que sugiere que el descubrir algo es un acto único y simple, asimilable a nuestro concepto habitual de visión” (Kuhn, 1991, p. 97).

nomía para el espíritu, la posibilidad de desprenderse del “soberano oculto” que es el paradigma que nos gobierna... Esta dialógica: “mantiene una esfera cultural en la que las doctrinas —renunciando a imponer por la fuerza sus verdades— aceptan ser contrariadas, y esta aceptación mantiene a su vez la dialógica [...] así se constituye una esfera de permisividad [...] más o menos tolerada o tolerante, donde se relaja la normalización y donde —en consecuencia— pueden expresarse los espíritus incompletamente marcados por el *imprinting* [...] esta expresión atenúa el *imprinting*... y va a favorecer las expresiones/intercambios de ideas [...] son justamente estas diversidades de puntos de vista lo que inhibe el *imprinting* y lo que reprime la normalización” (Morin, 1992, p. 31).

La acumulación de “anormalidades” que no pueden ser explicadas desde lo que se conoce empuja a la abducción de nuevas teorías (correspondientes —según el positivismo— al “irracional” contexto de descubrimiento). Pero estas anormalidades son “vistas” porque las categorías conceptuales han sido preparadas desde fuera.

Es decir, este cambio de visión no es interno a la ciencia (como si la interioridad del sujeto que investiga no influyera para nada como quiere el positivismo); se vino preparando desde fuera, por lo que no hay “descubrimiento” sino una validación encubierta desde la aplicación sobre el “vacío hermenéutico” de los esquemas pertinentes destilados en la interioridad del investigador, destilación que depende del gran marco de la cultura, de la historia externa y de su andadura personal.

XXIX. LA DIVISIÓN ARTIFICIAL ENTRE TEORÍA Y EMPIRIA

§. *¿Lo “empírico” y lo “teórico” son deslindables?*

Consideramos que es necesario a ojos vista de la investigación empírica realizada en los capítulos anteriores, precisar un poco más en que se funda la distinción entre “objetos y entidades empíricas” por una parte y “objetos y entidades teóricas” por la otra, porque hemos venido sosteniendo la no pertinencia de tal separación y distinción. Tal separación suele fundarse —según Klimovsky— en que la ciencia intenta ocuparse de “objetos” extra-mentales, de “cosas”, con la finalidad de justificar o abolir creencias acerca de ellos. Dice el autor que suele calificarse de “empírico” al conocimiento de objetos accesibles de “forma directa”, es decir “sin que exista ninguna mediación de instrumentos o de teorías para acceder a ellos” (Klimovsky, 1999, p. 33), tales objetos suelen llamarse “objetos directos”. Los objetos que no se encuentran en estas condiciones, como los átomos o los genes ya no serían objetos empíricos sino “teóricos”, serían “objetos indirectos”:

Supondremos, entonces, con fundamento, que los objetos directos constituyen un conjunto potencialmente análogo para todos los centros culturales que puedan plantearse problemas epistemológicos, y llamaremos base empírica [...] al conjunto de los objetos que potencialmente pueden ser conocidos directamente. Los demás objetos, acerca de los cuales no negamos que podemos adquirir conocimientos pero que exigen estrategias indirectas y mediatizado de horas para su captación constituirán lo que llamaremos zona teórica [...] cuando un objeto, entidad o situación en la base empírica es conocida, suele

decirse que contamos con un dato. En otro sentido, la captación de un objeto directo puede también denominarse una observación (Klimovsky, 1999, p. 34)

Como advertimos (cf. *supra*: *¿Irracionalidad de las hipótesis?* en el Capítulo 1) Klimovsky describe dos tipos de enunciados en la ciencia, los “empíricos” que sólo contienen objetos empíricos y los “teóricos” que cuentan con al menos un objeto teórico (cf. Klimovsky, 1999, p. 79). Estos enunciados se disponen en tres niveles: en el nivel 1 están los enunciados empíricos singulares (como “esta flor es blanca” o “la nieve es blanca”), en el nivel 2 tenemos los enunciados empíricos generales (o generalizaciones empíricas inductivas: “todas las flores de la primera generación son blancas” —en la experiencia de Mendel—), en el nivel 3 tenemos enunciados teóricos, que son aquellos que cuentan con objetos teóricos u “objetos indirectos” no observables directamente (Mendel postula los “genes” para explicar sus experiencias). Se pregunta el autor ¿cómo acceder a los enunciados de tercer nivel? (a los enunciados de segundo nivel puede accederse —no sin ciertas dificultades epistemológicas— mediante el método inductivo). Y contesta —como ya observamos— que descartado el método inductivo, el acceso a los enunciados teóricos “es el mismo ‘método’ con que a un artista se le ocurre una obra de arte, o sea, por el poder de imaginación y de creación de que dispone” (Klimovsky, 1999, p. 79), si bien acordamos con la cadena de significantes con que Klimovsky se expresa, no concordamos con su sentido pues para Klimovsky en el arte o en la inspiración artística —coincidiendo con Popper (1962)— no hay racionalidad alguna. Continúa explicitando su postura y citando finalmente a K. Popper:

Se trata de imaginar que puede haber “detrás” de una apariencia que explique el comportamiento de esta, así como Mendel

imaginó los genes para explicar el modo en que se comportaban sus alverjillas y Dalton imaginó los átomos para explicar el comportamiento de las sustancias elementales cuando se combinan en el laboratorio. No podemos acceder a ese “detrás” por medio de la observación y por ello debemos imaginarlo y en cierto sentido, crearlo. Pero aquí es necesario aplicar la recomendación de Popper: tener la mayor osadía para inventar hipótesis, aunque el mayor rigor después para controlarlas (Klimovsky, 1999, p. 79)

Como se observa, no hay referencia en este texto a la *praxis*, es decir, la invención de la hipótesis no recurre ni a la analogía ni a traslados metafóricos, es una especie de invención “ahistórica”... Lo que no se tiene en cuenta en estas apreciaciones es que ya en el nivel 1 no podemos hablar de “objetos directos” o “conocimiento directo” o suponer —aunque admite el autor que algunos epistemólogos no están de acuerdo— “con fundamento, que los objetos directos constituyen un conjunto potencialmente análogo para todos los centros culturales que puedan plantearse problemas epistemológicos” (Klimovsky, 1999, p. 34, subrayado nuestro H.M.). Ni siquiera podemos hablar de “objeto directo” o de “enunciado empírico singular” cuando al mirar la nieve blanca afirmamos “esta nieve es blanca” (cf. *supra*: ¿Observación directa sin metáforas? en el Capítulo 1). El lenguaje, la cultura, el imaginario social, la *praxis* producen profundas alteraciones en la “experiencia directa” (cf. cita sobre la nieve en Bredlow, 2006, p. 7, analizada por nosotros en *supra*: ¿Observación directa sin metáforas? en Capítulo 1).

Recordemos a propósito de la posibilidad de observación de “objetos directos” lo que hemos mencionado en el Capítulo 1 (*Organismo conceptual metafórico*), sobre las llamadas “metáforas sustancializadoras” y sobre las geografías útiles que las

mismas nos proveen.²⁹ Recordar también al respecto lo que hemos dicho en torno al Esquema N° 11: *Modelo de despliegue de lo que se esconde en la base empírica indubitable del positivismo* y al Esquema N° 12: *Modelo de generación de hipótesis* ambos en el Capítulo 3. Finalmente ya observamos (en *supra* ¿*La metáfora en Newton es teoría o es empiria?*) que las metáforas de Newton son un “híbrido” entre teoría y empiria.

29. Decíamos allí, que solemos desde la experiencia de *nuestro* cuerpo, que posee un *límite* en la epidermis, trazar metafóricamente *límites* artificiales que nos son útiles y producen “sustancialización”: “la montaña”, “la esquina”, “el electrón”, etc.... “Todo lo que hay” es más bien *un continuo* en el que trazamos estas “geografías” útiles y metafóricas. Los conceptos de sustancia, objeto, recipiente son metáforas que emergen de una experiencia inmediata con nuestro cuerpo (cf. Lakoff & Johnson, 2007, p. 98).

XXX. EL LÍMITE ENTRE LA FÍSICA Y LA METAFÍSICA

*Se está echando a perder buena
física por culpa de mala filosofía*

Werner Heisenberg, “Encuentros y conversaciones con Einstein y otros
ensayos”

§. *No hay ninguna ciencia que no tenga su metafísica*

La metáfora del Árbol de la Ciencia

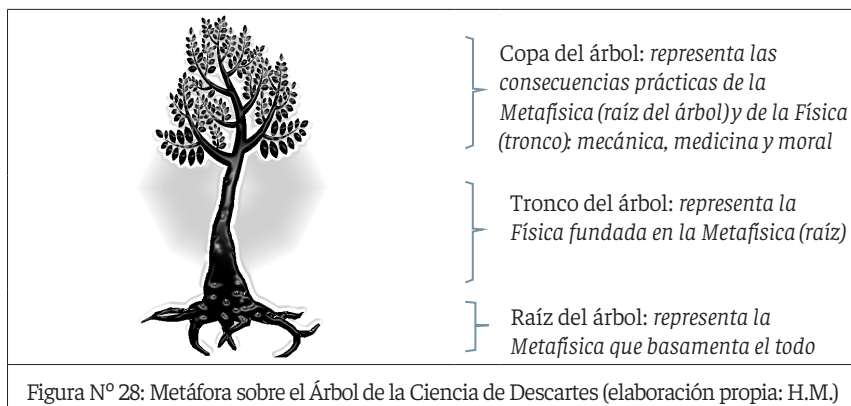
Ya hemos dado una primera noción de “metafísica”, como “abstracto, teórico, especulativo” (sinónimos propuestos por el DRAE) para referirnos a lo no observable directamente, pero “razonable”³⁰ en cuanto a sus manifestaciones observables.³¹ Prometimos explicar más nuestra postura de una Metafísica *en orden a* una Física mediante la metáfora estoica del *Árbol de la Ciencia*.

En los albores de la modernidad es R. Descartes quien recupera la noción de “metafísica” de los estoicos:

Descartes no cultiva la metafísica por sí misma, es decir, por la sola satisfacción de conocer la verdad, sino para asentar los fundamentos de la física, la cual, a su vez, es cultivada en vista de las aplicaciones prácticas. En efecto, Descartes recoge la comparación estoica de la ciencia humana con un árbol: las raíces son la metafísica, el tronco es la física, y las ramas que dan fruto son la mecánica, la medicina y la moral (Verneaux, 1984, p. 25-26)

30. Mediante una ABDUCCIÓN o razonamiento abductivo.

31. O RESULTADOS observables en el lenguaje de la lógica clásica.



Como muestra de que las raíces Metafísicas se buscan en función de la Física, comenta Verneaux:

Para fundar una física matemática, Descartes juzga necesario sustituir la metafísica de Aristóteles que se enseña en las escuelas, pues esta metafísica admite en las cosas principios que no son cuantitativos: cualidades sensibles, formas sustanciales. La metafísica cartesiana tiene por objeto demostrar que el mundo material es extensión y sólo extensión, que los cuerpos son íntegramente comprensibles por la geometría, que todo en la naturaleza se explica mecánicamente, es decir por la figura y el movimiento (Verneaux, 1984, p. 26)

Toda Física tiene su Metafísica

Jean le Rond d'Alembert (1717-1783) en sus *Elementos de filosofía* da un nuevo giro a la concepción del positivismo naciente, al admitir que la ciencia natural para ser ciencia debe recurrir a una "metafísica" entendiendo por tal los principios generales sobre los que se erige una determinada doctrina y que son como el germen de todas las verdades especiales que esa ciencia encierra y expone:

La metafísica es, según el punto de vista desde el cual se la considere, el más satisfactorio o el más nulo de todos los conocimientos humanos: el más satisfactorio, siempre y cuando se limite a los objetos que no rebasan su horizonte y siempre que los analice con claridad y con precisión, sin dejarse llevar en su análisis más allá de lo que cabe conocer claramente en estos objetos; el más nulo si, audaz e ignorante al mismo tiempo, se deja arrastrar a un terreno sustraído a sus miradas, si se pone a disputar acerca de los atributos de Dios, la naturaleza del alma, la libertad y otros problemas de esta índole, en los que se embrolló toda la filosofía del pasado y de los que tampoco la filosofía moderna puede confiar en salir airosa... Debemos sustituir todas estas nebulosas especulaciones por una metafísica creada más bien para nosotros y que sepa apegarse más de cerca y más directamente a la tierra: una metafísica cuyas aplicaciones se extiendan hasta las ciencias naturales, y sobre todo hasta la geometría y las diversas ramas de la matemática. No hay ninguna ciencia en el riguroso sentido de la palabra que no tenga su metafísica, entendiéndolo por tal los principios generales sobre los que se erige una determinada doctrina y que son como el germen de todas las verdades especiales que esa ciencia encierra y expone. (d'Alembert citado por Cassirer, 1993b, p. 387) (subrayado propio: H.M.)

Es decir, hay una metafísica nula y otra muy útil para la ciencia. La acción a distancia es una especie de metafísica o "principio general" pues no se le encuentra una causa física que la explique. Leibniz pedía a Newton una explicación, una causa que Newton no encontró (fuera de Dios). Quizás Leibniz pedía no adelantar una metafísica en un terreno en el que todavía se pueden encontrar causas físicas (como de hecho ocurrió con la idea del campo gravitatorio, gestada desde las metáforas de las líneas elásticas de fuerza de Faraday-Maxwell). En este sentido d'Alembert dice que cuanto

más abstractos son los principios o más separados del objeto sensible mejor será el fundamento de la ciencia:

Cuanto más “abstractos” sean los fundamentos de una ciencia, más seguro será también, nos dice ahora [d’Alembert], el conocimiento que esta ciencia procura; por el contrario, cuanto más se acerque su objeto a lo sensible, más incierto y más oscuro será lo que de él sepamos. (Cassirer, 1993b, p. 387)

Como se observa, los límites entre metafísica y física no son sencillos de trazar. Esto se relaciona con lo que venimos diciendo: los datos y su búsqueda están cargados de teoría o mejor de praxis (Samaja, 2004, p. 194) y parece haber una construcción conjunta y dialéctica entre los objetos y el sujeto racional.

Recapitulando lo que venimos diciendo, el conocimiento científico lejos de ser una lectura objetiva del libro de la naturaleza, es más bien una construcción “simbiótica” producida por lo que el sujeto pone metafóricamente en el objeto y por lo que el objeto deja en el sujeto. Es difícil deslindar qué es lo que “corresponde” al sujeto y qué lo que corresponde al objeto o a los objetos. Tal situación la venimos constatando hasta aquí pero se verá contundentemente reflejada en la física contemporánea (cf. *infra*: Capítulo 8).

A continuación trataremos de comprender estas dinámicas sobre el conocimiento desde el concepto metafórico de la intertextualidad, que entiende que tanto el “libro” de la realidad, como su “lector” (científico o alumno) son textos entre los que se produce una sintonía mutuamente transformadora. Esto nos permitirá abrir nuevamente el panorama hacia el aspecto significativo y educativo de nuestras consideraciones.

XXXI. ASPECTO EDUCATIVO DE LA INTERTEXTUALIDAD

§. *El aprendizaje significativo y la intertextualidad*

Construcción intertextual de sujeto y objeto

El aprendizaje se vuelve significativo (en el sentido que “significa” algo para el que aprende o se torna interesante) cuando los nuevos saberes conectan con las inquietudes generadas en el alumno en base a lo que conoce, ya sea porque lo pone en crisis apareciendo “cierta magia”, ya sea porque potencia esos saberes que le interesan o le abre la mente a perspectivas interesantes. Si bien es cierto que como hemos dicho a la realidad no se la puede “obligar a decir cualquier cosa”, también es cierto que ella responde a nuestras inquietudes. En la ciencia de la interpretación de textos una *exégesis* es un acercamiento que intenta respetar (lo más posible) “la voz” del texto, mientras que la *eiségesis* es buscar una respuesta a nuestras inquietudes o a lo que el texto produce en nosotros. Los saberes previos tienen que ver con la *eiségesis* y de algún modo no anular la *eiségesis* (como pretenden anularla los métodos de la *exégesis*) es respetar nuestra historia. El sentido está en la confluencia de estas actitudes, el texto fija los límites de la interpretación (Ranieri, 2004) —para no caer en el relativismo— pero el sujeto aporta una riqueza que permite al texto liberar una reserva potencial de sentido (Croatto, 1994). El aporte de cada lector fiel al texto y a sí mismo es una “nueva riqueza”, un plus de realidad mutuamente enriquecedor. Siempre la *exégesis* (¿qué dice el texto?) debería terminar en una hermenéutica en base a la *eiségesis* (¿qué nos dice el texto?), Paul Ricœur describe este

proceso a través de su triple mimesis (Ricœur, 2004), Gadamer a través de su fusión de horizontes (cf. *supra*: Capítulo 2: *Apostillas sobre el modo humano de conocer, su lógica “ilógica” y lo experimentado como verdadero*).

El texto-objeto suscita una intertextualidad que depende del texto que el mismo sujeto es: ese entramado constituido por sus lecturas y experiencias previas.³² Hay un efecto de sentido que no está en el objeto sino en el encuentro pero que es suscitada por *ese* objeto... de algún modo hay construcción conjunta de sujeto y objeto, el encuentro no los deja “igual que al principio”.

La ley de la Gravitación Universal —por ejemplo— no es propiamente una *exégesis*, esto es, no surge de los datos que la sola realidad suministra, sino que es fruto de una *eiségesis*, si bien la naturaleza “fija los límites de la interpretación”, es cierto que sin el sujeto Newton que le aporta inteligibilidad en el lenguaje de la analogía primero (honda o boleadora —Huygens—, dilución del efecto lumínico o sonoro de una fuente puntual con el cuadrado de la distancia —Kepler—) y en el lenguaje matemático después, no habría sido abducida.

32. Pero ¿qué es un texto? Etimológicamente el *textus* es un tejido, un entrecruzamiento de varios hilos, una interrelación entre varias cosas. La trabazón de los “hilos”, no se produce sólo por cuestiones objetivas, sintácticas y semánticas, o por las propiedades textuales de coherencia y de cohesión... sino porque establece un diálogo con su lector (para Jorge L. Borges, 1952a, “este diálogo es infinito”), un entramado donde de dos (texto y lector) surge una unidad que podemos calificar de “transtextual” o de síntesis en cuanto que un texto entra en un lector, que como anunciamos en el punto anterior aporta su “texto interior”, un tejido de vivencias, conocimientos y experiencias. Según Genette (1981, p. 53) la *literariedad* tiene que ver con la transtextualidad o “trascendencia textual del texto”, es decir, “todo lo que lo pone en relación, manifiesta o secreta, con otros textos”. En este sentido no hay una referencia inmediata, sino una “referencia diferida” por cierta polisemia (cf. *infra*: postura de Roman Jakobson en *Herramientas teóricas que permiten tratar estos testimonios* en Capítulo 10).

Significatividad: metáfora e intertextualidad

La metáfora (como proceso) o la analogía atisbada (como resultado) se relaciona con lo textual en cuanto que ante un “vacío interpretativo”, donde hay “cabos sueltos” o la realidad presenta *prima facie* “datos incoherentes”, la *praxis* del investigador/ profesor/ alumno desde la “cantera de analogías” (cf. Samaja, 2004, p. 138) provee un esquema trasladado, es decir, metafórico que permite una primera inteligibilidad. Esos “cabos sueltos” se conexionan y empiezan a formar un texto, es decir, aparecen la coherencia y la cohesión que son propiedades textuales. El mecanismo metafórico como cubrimiento de un “vacío semántico” resulta ser también un proceso textualizador. Así, para manifestarse como texto, como entramado, “el texto” necesita de un lector y de un entorno cultural,³³ en palabras “de la ciencia” el “objeto” necesita del sujeto y de su cantera de analogías.

Si el docente logra conectar con los saberes previos de los alumnos, no es posible la repetición en el aula. Aún dos textos materialmente idénticos no suponen una repetición.³⁴ Por eso Borges dice que una

33. Dice Lauro Zavala: “desde la perspectiva de la intertextualidad, el texto no es únicamente el vehículo de una significación codificada de antemano, sino parte de una red de asociaciones que el lector produce en el momento de reconocer el texto. La naturaleza de todo texto es la de ser una especie de pre-texto para el inicio de las asociaciones intertextuales de cada lector virtual... La intertextualidad no es algo que dependa exclusivamente del texto o de su autor, sino también, y principalmente, de quien observa el texto y descubre en él una red de relaciones que lo hacen posible como materia significativa desde una determinada perspectiva: precisamente la perspectiva del observador. Esto último es muy importante, pues significa que el concepto mismo de intertextualidad presupone una teoría de la comunicación en la que el receptor (lector, espectador, observador, visitante, usuario, consumidor) es el verdadero creador de significación en todo proceso comunicativo.” (Zavala, 2007, p. 3) (subrayado nuestro: H.M.).

34. Con su inteligente ironía y de modo hiperbólico Jorge Luis Borges (1941b) planteó el problema en *Pierre Menard autor del Quijote*. En este cuento Menard escribe un Quijote materialmente idéntico al de Cervantes “pero mucho más rico” pues han transcurrido varios siglos de historia entre uno y otro autor.

literatura difiere de otra menos por el texto que por el modo de ser leída (Borges, 1952a). Si el texto que toma cuerpo en una secuencia didáctica logra entrar en resonancia con el texto interior del alumno, puede producir una riqueza muy interesante.³⁵

Es colegible que en todo texto hay un misterio generado en el fenómeno de la intertextualidad con una interioridad que no puede renunciar a ser también un texto, un tejido de textos, y pareciera ser entonces una especie de “pasión inútil” la pretensión de ajustar lenguajes (científicos) para “decir adecuadamente” el texto que la realidad es. ¿No se ajustará mejor la metáfora con sus ambigüedades y apertura de panoramas múltiples (y no se deberá a eso su ubicuidad, cf. Magnasco, 2024)? Así lo hemos visto en el *proceso de construcción* de la Ley de Gravitación Universal. El recurso a la metáfora (la “honda o boleadora”, la disminución cuadrática de la intensidad de una fuente de luz con la distancia, etc.) se da en la historia de la ciencia. Hemos hablado de un rodeo por la metáfora en el “contexto de descubrimiento”, en el real acontecer de la ciencia

Son textos idénticos pero producidos por interioridades diferentes forjadas por contextos históricos, culturales y personales diferentes. Cervantes produce El Quijote y Menard lo recibe re-escribiéndolo en su interior y aunque la sucesión de palabras, oraciones y capítulos no varía entre uno y otro Quijote, él —Menard— es verdadero autor de El Quijote. Toda lectura es una reescritura y todo lector es en cierto modo autor de lo que interpreta (aquí se observa de nuevo una construcción conjunta de objeto y sujeto).

35. Como hemos dicho, los textos tienen una “reserva de sentido” (Croatto, 1994) que liberan en el encuentro con la fuerza de la vida, al ser re-ubicados en nuevos contextos históricos, culturales o personales; la experiencia es que hay “producción de sentido” y no mera repetición. Dice Lotman: “[...] los textos, como formaciones más estables y delimitadas, tienden a pasar de un contexto a otro, como ocurre por lo común con las obras de arte relativamente longevas: al trasladarse a otro contexto cultural, se comportan como un informante trasladado a una nueva situación comunicativa: actualizan aspectos antes ocultos de su sistema codificante. Tal ‘recodificación de sí mismo’ en correspondencia con la situación pone al descubierto la analogía entre la conducta signica de la persona y el texto.” (Lotman, 1993, p. 19-20).

una buena metáfora es principio de inteligibilidad y de un primer “decir” que ayuda a “subir la cuesta abstracta”, pero luego —como apunta J. Bruner (2004, p. 58)— es desechada, “arrojada por la ladera” (olvidada u escondida). Anulada la génesis, el resultado prentado como cosa “ingénita”, es algo bastante “duro” y despojado del “sentido vivencial” que tiene muchas más chances de conectar (e incluimos aquí la dimensión educativa) con la vida del que aprende.

Todo lo dicho sobre el texto introduce la presencia de un misterio debido al ingreso —en ese proceso textual— de ese “texto misterioso” que es la propia vida del intérprete. Las posturas de Gadamer y Ricoeur ya mencionadas (interpretación en triple mimesis y en fusión de horizontes, cf. supra: Capítulo 2) dan más fuerza a esta consideración. Esto abona lo dicho sobre la imbricación de “los hechos enigmáticos” de la ciencia con la fantasía que busca los contornos de esas “sombras” de lo real.

La cuestión de la verdad: construcción intertextual

Mirando lo que hemos analizado en los capítulos 4 (*La metáfora en la base de la interpretación científica moderna: el sistema metafórico newtoniano*) y 5 (*Matematización de las metáforas del sistema newtoniano y pruebas empíricas*) ¿Es la Ley de la Gravitación Universal (o la Ley de Coulomb) una ley verdadera? El punto de vista adoptado para la cuestión de la verdad se aleja tanto de la postura dogmática que dice que “hay una única verdad (y es ésta...)” como del clima del relativismo que afirma que “no hay verdad” sino sólo interpretación interesada. Para Gadamer el “diálogo inagotable” entre el intérprete y las cosas rompe con la pretensión de un saber acabado, conceptual, universal y definido sobre la realidad. De algún modo deja lugar al misterio que hace más justicia a lo real, desde un decir inconcluso y nunca terminado. La línea hermenéutica adoptada —Heidegger-Gadamer-Ricoeur— concibe la circularidad (o lo espiralado de un diálogo) como una oportunidad positiva para el conocimiento que da lugar a la riqueza.

Según esta línea hermenéutica la educación no puede pretender dar “respuestas definitivas” desde “saberes definitivos” sino sólo provisoriedades serias y fundadas desde argumentos interesantes que invitan a seguir pensando e investigando.

La idea de un “rigor científico” no se construye a través de una metodología “dibujada” en pasos sucesivos, ascendentes, lineales y escalonados (cf. Temporetti, 2014) sino desde un humilde compromiso con una honestidad intelectual que “va y viene, sube y baja”, que no esconde preguntas ni puntos flacos, pero que —de este modo— va revistiendo su producción con el calificativo de “científico” y “verosímil” a la vez que va construyendo “objetividad”.

Es de gran importancia el destacar que esta verosimilitud se construye intertextualmente, no sólo con textos de reconocido valor científico y literario sino con “el texto” que es la propia vida del investigador o científico.³⁶ La intertextualidad es el efecto de sentido producido por el encuentro de los textos y que genera nuevos textos. Dice Julia Kristeva: “[...] todo texto se construye como mosaico de citas, todo texto es absorción y transformación de otro texto” (Kristeva citada por Temporetti, 2014). Zavala por su parte resume el concepto de “texto” como una red de relaciones que toma cuerpo en la mirada de un lector-espectador (claramente no pasivo) y que tiene un carácter intertextual y transdisciplinario:

La intertextualidad es la característica principal de la cultura contemporánea. Si todo producto cultural (un concierto, una mirada, una película, una novela, un acto amoroso, una conversación telefónica) puede ser considerado como un texto, es decir, literalmente, como un tejido de elementos significativos que están

36. Se ha conservado la frase de uno de los miembros de la Escuela de Tartu (Universidad de Estonia), R. Timenchik: “¿Si nuestra vida no es texto, entonces qué es?” citado por Knabe (2007, p. 10). Así, cuando dos textos se “ponen juntos” (la realidad que sea y la propia vida) se transforman, empiezan a decir lo que no decían “por separado”...

relacionados entre sí, entonces todo producto cultural puede ser estudiado en términos de esas redes. Las reglas que determinan la naturaleza de este tejido son lo que llamamos intertextualidad. En otras palabras, todo texto —todo acto cultural y por lo tanto todo acto humano— puede ser estudiado en términos de la red de significación a la que pertenece. El estudio de la intertextualidad tiene entonces, necesariamente, un carácter transdisciplinario... la intertextualidad es resultado de la mirada que la construye. (Zavala, 2007, p. 1)

Esta postura sobre la verdad, habilita la razonabilidad del discurso docente en el modo subjuntivo (cf. *supra* nuestra Introducción a este libro), modo que invita al estudiante o lo involucra en una construcción conjunta del conocimiento, al quitarle al discurso científico esa “rigidez” en la que parece no haber “fisuras” y que por tanto no admite alteración posible por parte de la creatividad, ni una síntesis personal intertextual... En un ambiente así, ¿Cómo se entiende la “innovación” tan pretendidamente procurada en los ambientes científico-tecnológicos?

La lectura de la realidad ¿repetir o producir?

Adoptando la primera parte de la metáfora de Galileo: “la naturaleza es un libro...” nos preguntamos: ¿qué es *leer* en ese libro: reproducir o crear? La lectura de la realidad se vuelve reproducción cuando nuestro marco epistémico se desenvuelve (en última instancia) en un cosmos (un orden) que tiene como trasfondo el mundo matemático platónico que rige toda la realidad del mundo físico (cf. *supra*: *La vinculación de los tres mundos de Roger Penrose*) esto es hay algo fijo eterno inmutable, independiente de nosotros en la entraña de lo real. Desde este tipo de lectura cualquier texto (incluso el de la realidad) se petrifica en su “recta interpretación”, no hay producción de sentido sino repetición de sentido, tendencia curricular a sistematizar los contenidos y a

volverlos doctrina, “recta” interpretación. El sentido “está en el texto” (no en el encuentro del texto con la vida), por lo que hay relación epistémica de disyunción Sujeto-Objeto y posición gnoseológica de realismo ingenuo.³⁷ El “alumno” no tiene nada nuevo que aportar, ya está todo dicho, debe ser fiel a la repetición de la transmisión previa del docente. Pero debemos advertir —como venimos analizando— que cualquier texto —incluso el de la realidad— cambia por el hecho de ser leído. Porque el lector aporta su “texto interior”, sus lecturas previas, sus vivencias que lo hacen resonar “por intertextualidad”³⁸ de un modo único. Si la realidad tiene un trasfondo lógico matemático es entendible que lo recién expresado no se admita, sólo habrá *una* verdad cuya realidad última se encuentra en el mundo platónico (como ya dijimos así lo entienden matemáticos como Penrose, cf. Penrose, 1996, p. 110, 380-381 y 2006, p. 61-70).

En este capítulo hemos estudiado y lo vimos empíricamente manifestado que la realidad parece no ajustarse sino más bien “ser ajustada” al control del número. Así es lícito admitir que la realidad puede permitir un lenguaje más amplio para ser interrogada y para respondernos (sin negar los logros y avances indiscutibles en el ámbito científico del cual todos nos beneficiamos), nos preguntamos

37. Santo Tomás de Aquino —1225 Italia-1274— desde una lectura de Aristóteles dio sustento metafísico al realismo gnoseológico a través de la operación del llamado “intelecto agente”, facultad que “extrae de las cosas” su esencia, aquello que hace que la cosa sea lo que es y no otra, la *quidditas rei materialis...* estableciendo que “el alma del hombre es todas las cosas” es decir, cuando el hombre conoce capta la esencia de las cosas, es decir adopta una concepción especular del conocimiento: conocer es hacerse de algún modo la cosa conocida.

38. Como hemos dicho, por intertextualidad entendemos el efecto de sentido, el plus de sentido o su variación, que un texto adquiere al ponerse junto a otro texto o al entrar en otro texto. Recordemos lo que dice Lauro Zavala ya citado: “desde la perspectiva de la intertextualidad, el texto no es únicamente el vehículo de una significación codificada de antemano, sino parte de una red de asociaciones que el lector produce en el momento de reconocer el texto” (Zavala, 2007, p. 3, subrayado nuestro: H.M.) esta “red de asociaciones” implica que lo que se “enreda” o teje es el texto objeto con el texto o textos que provienen de la interioridad del lector.

si este cambio de perspectiva y de lenguaje no liberará un potencial creativo en los alumnos... Debido al fenómeno de la intertextualidad el alumno aporta un texto y tiene una misión en la construcción de la verdad. Si uno vence la tentación de cambiar su retina por otra ajena (Ortega y Gasset, 1985 [1916]) (o de “hablar por boca de ganso”), será fiel a su misión respecto de la verdad o verosimilitud, aportando su perspectiva que es única (donde está nuestro ojo no está otro) y necesaria para una construcción “poliscópica”, es decir, abierta a múltiples perspectivas, dialógica, tolerante. En este sentido el alumno tiene que aportar “su texto” y salir de su posición de “*infans*” (el que no sabe —o no debe— hablar).

Capítulo 8

LA DIMENSIÓN ARTÍSTICO-METAFÓRICA DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA CONTEMPORÁNEA: SENTIR LA BELLEZA COMO VERDAD Y REALIZAR PREDICCIONES ESTÉTICAS

El científico no estudia la naturaleza porque le resulta útil hacerlo, sino que la estudia porque le da placer y le da placer porque la naturaleza es bella.

Alberto Rojo, "Borges y la Física Cuántica"

XXXII. VUELTA A LO CLÁSICO: SENTIR LA BELLEZA COMO VERDAD

*En un mundo que ya no se cree capaz de
afirmar la belleza, también los argumentos
demostrativos de la verdad han perdido
su contundencia, su fuerza de conclusión lógica.*
Hans Urs von Balthasar, “Gloria. Una estética teológica”

La metáfora suele estar asociada a la poesía, a un decir con belleza que entraña una verdad sentida e inaudita. Los traslados metafóricos que hemos visto pueden no tener el tipo de belleza que la costumbre nos ha enseñado a identificar, pero son parte de una búsqueda de armonía que se siente colindante con la verdad. El epígrafe de von Balthasar intenta señalar que la separación entre belleza y verdad, deja sin fondo tanto a la belleza como a la verdad, reducidas a lo bonito y al silogismo. Una tradición metafísica de mucho peso dice que la belleza es el esplendor de la verdad (*pulchritudo est splendor veritatis*), esto es, no son —ni funcionan— la una sin la otra. Dice Balthasar:

Los silogismos funcionan como es debido, al ritmo prefijado, a la manera de las rotativas o de las calculadoras electrónicas que escupen determinado número de resultados por minuto, pero el proceso que lleva a concluir es un mecanismo que a nadie interesa, y la conclusión misma ni siquiera concluye nada [...] si al *verum* [lo verdadero] le falta aquel *splendor* [esplendor] [...] signo distintivo de lo bello, el conocimiento de la verdad permanecerá tan pragmático como formalista (von Balthasar, 1985, p. 23 y 142) (aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

Es decir, la idea es que podemos decir cosas *formalmente* verdaderas, pero con una *formalidad* que —constituida por axiomas y silogismos— ha eliminado la atracción que despierta lo bello, dando lugar a una “verdad” que no atrae y que no entusiasma. Lo hemos dicho a propósito de las reorganizaciones artificiales axiomático deductivas¹ de las creaciones científicas, donde el momento de validación se ha fagocitado totalmente al momento de descubrimiento o construcción creativa que ha sido arrojado por la ladera de la montaña del conocimiento.

Cuando hablamos de recuperar las metáforas, como modo de inteligencia, creación y comunicación, nos estamos refiriendo a recuperar esta dimensión estética que toda verdad contiene y que implica una nueva forma de ser presentada. La atracción involucrada puede ser interesante para una docencia que intenta habilitar el entusiasmo: “Podemos incluso decir cosas verdaderas pero, en la medida en que ellas no suceden ante nuestros ojos como una belleza concreta que atrae —‘pulchritudo est splendor veritatis’ [...]—, no convencen ya a nadie, ni a nosotros ni a los demás” (Carrón, 2020, p. 32).

§. *Lo estético y lo artístico*

Por estética (del gr. *aisteticós*: “sensible”) entendemos lo relativo a la percepción o apreciación de la belleza, la cual —según el diccionario— es la “propiedad de las cosas que hace amarlas, infundiendo en nosotros deleite espiritual” (DRAE). Si bien se usan casi como sinónimos hay una distinción entre lo estético y lo artístico. Lo artístico se asocia a un hacer que en su resultado —la obra de arte— despierta lo estético en quien contempla o siente (incluimos todos los sentidos). El arte (del gr. *técne*) es la virtud, disposición y habilidad para hacer algo estético (cf. DRAE). Alguien puede ser un esteta sin ser un artista. La tarea del arte

1. Reorganizaciones artificiales que presentan los libros de ciencia como hemos visto.

—entonces— es despertar al esteta y el sentido estético capta la belleza en la realidad o en la obra de arte.

Por su etimología la estética está asociada a lo sensible, al sentir, no sólo un sentir que actualiza los *sentidos externos* sino también los *sentidos internos* que llevan a captar una idea. En filosofía aristotélica se habla de los *sentidos internos*, siendo el *sentir* cierta fusión entre los externos y los internos.² Utilizando una metáfora: la música no está ni en la partitura, ni en el instrumento que la ejecuta, ni en la vibración del aire, ni en la vibración del tímpano, sino en un *acto* que *fusiona* sentidos externos e internos.

Para Hegel “La tarea del arte consiste en hacer que la idea sea accesible a nuestra contemplación bajo una forma sensible” (Hegel, 1997, p. 128). Se plantea aquí algo propio del trabajo de la metáfora: lograr que algo abstracto o de algún modo inasible se vuelva sensible, palpable (cf. *supra*: *Metaforizar es un alumbramiento cognoscitivo gozoso* en Capítulo 1). Al estar el arte muchas veces asociado a lo bello o a lo sentimental, y para que no se considere su producción algo meramente subjetivo, Heidegger afirma y construye una fundamentación de su conexión con la verdad:

La esencia del arte es el poner en operación la verdad del ente [...] si lo que pasa en la obra de arte es un hacer patente los entes, lo que son y cómo son, entonces hay en ella un acontecer de la verdad (Heidegger, 1988, p. 63)

2. “De acuerdo con la tradición griega y árabe, las acciones o poderes del alma sensitiva se dividen en dos grandes subgrupos: los sentidos externos (vista, oído, olfato, gusto y tacto) y los sentidos internos (cinco también en la *Summa* [Suma Teológica de Santo Tomás de Aquino]: sentido común, imaginación, fantasía, estimación y memoria) [...] residen todos en un único órgano, el cerebro [...] La percepción de los sentidos debe iniciarse siempre por la acción de los objetos externos, y los sentidos son así los que reciben esas acciones” (Pérez de Laborda, 2005, p. 229-230) (aclaración entre corchetes propia: H.M.).

§. Belleza, verdad y poesía

Belleza y verdad tradicionalmente se vinculan, según la vertiente griega la belleza sería la verdad mostrándose de una manera plena.³ Nosotros sostenemos desde la postura hermenéutica adoptada (línea Heidegger-Gadamer-Ricoeur) y tomando un neologismo de Vilanou que la verdad se da “empalabrada” es decir vehiculizada por el lenguaje⁴ (cf. *supra*: *El ser que puede ser conocido es lenguaje* en Capítulo 1).

La tarea de la ciencia, de la filosofía y del arte es que lo verdadero se haga manifiesto de un modo pleno, cada cual lo expresa acabadamente a su modo (pero entendemos que en su proceso utilizan mecanismos metafóricos). Distinguimos aquí lo experimentado como verdadero de la verdad como cosa absoluta, a través de dos posibles lecturas de la realidad a las que llamamos respectivamente *lectura dinámica* y *lectura estática*. Para esta última (de tipo platónico) la verdad es anterior al conocimiento, para la primera —en cambio— la verdad se va construyendo activamente. La lectura “estática” cree en verdades eternas que están para ser descubiertas, se da en el marco de una preferencia por los mundos predecibles, estables y ordenados. La lectura “dinámica” —en cambio— cree que la verdad “se va haciendo al andar”, se da en el marco de una “aventura” que confía que en el momento presente puede nacer algo realmente nuevo. Entendemos —hablando muy en general—, que el arte se inclina más hacia la lectura dinámica, en un movimiento que aspira a que el mundo no sea una replicación del de ayer.

3. “La belleza es el esplendor de la verdad” (Juan Pablo II, Carta encíclica *Veritatis Splendor*). Lo “lindo” y lo “feo” no se asocian a lo bello en tanto no se asocian a lo verdadero.

4. “No hay que olvidar que la verdad siempre se da empalabrada, es decir, vehiculada por el lenguaje de modo que la palabra hace presente el sentido de las cosas en el acto de la interpretación que es una comprensión que, a su vez, es una autocomprensión”. (Vilanou, 2001, p. 23).

§. *La metáfora en la ciencia física del SXX*

A continuación trataremos de indicar como la metáfora que estaba operante pero escondida en la ciencia moderna (tras un *mapa* matemático que parecía *coincidir* en general con el *territorio*) se manifiesta en la ciencia contemporánea como una inquietante *actriz principal*. Esto da a la ciencia contemporánea un giro artístico, en tanto el o la científica, se embarca —más que en la búsqueda de objetiva verdad— en una de sentida belleza.

Somos conscientes del salto histórico que estamos dando: de los orígenes de la física clásica con Huygens, Hooke, Galileo, Newton, Priestley, Franklin y Coulomb mencionados en los capítulos 4 a 6 saltamos al siglo XX con la Física cuántica y la Física relativista. Queremos manifestar con toda la fuerza posible —y la física cuántica o mecánica ondulatoria nos da la oportunidad— que nuestro conocimiento científico tiene una base metafórica (al igual que todo conocimiento) conectada con la belleza.

XXXIII. LA PREDICCIÓN ESTÉTICA DE LO VERDADERO

*Debe haber sido una gran confianza en
la belleza esencial de la descripción matemática
de la naturaleza lo que inspiró a Einstein
en su búsqueda de una teoría de la gravitación.*

Paul Dirac, "The excellence of Einstein's theory of gravitation"

§. Una operación metafórica que crea al dominio meta

La operación metafórica en la ciencia física del SXX consiste en trasladar esquemas estéticos que integran una especie de "canon" que involucra simetrías, simplicidades, correspondencias, sintonías. La diferencia con lo que hemos visto en los capítulos anteriores⁵ es que aquí lo destilado como canon estético se convierte en una herramienta de predicción de lo verdadero (con lo cual no se cubre un "vacío semántico" detectado en un "dominio meta" sino que más bien se genera la fisonomía del dominio meta, al predecir cómo *debería ser* o qué características relevantes *debería tener* el fenómeno buscado).

§. Testimonios científicos

El científico y músico Argentino Alberto Rojo refiere que hay muchos elementos estéticos en la ciencia. Afirma que: "la ciencia y el arte

5. En lo que hemos visto, en la operación metafórica, se focalizan elementos de un dominio meta que resultan relevantes en base a una semejanza con elementos destilados en la cantera de analogías. Esta focalización es lógicamente un RESULTADO que se asocia metafóricamente a un esquema o REGLA de la cantera de analogías familiares (la metáfora permite obtener la REGLA para que el razonamiento abductivo funcione) y finalmente emerge la abducción: este RESULTADO es un CASO de esta REGLA (generación de hipótesis).

no son alternativas antagónicas en la búsqueda de la verdad sino que comparten un territorio común” (Rojo, 2013, transcripción). Es interesante que este físico y músico argentino entienda —por un lado— que el arte es una *alternativa* en la búsqueda de la verdad⁶ y —por otro— que la ciencia y el arte *compartan* en su empresa un *territorio común*. Este “territorio común” lo ubicamos desde nuestra investigación en el llamado “contexto de descubrimiento”. Según Rojo la estética juega un rol relevante en la generación de las teorías y ofrece —dicho autor— algunos testimonios de científicos mundialmente reconocidos como el de Henri Poincaré (1854-1912):⁷

[...] el científico no estudia la naturaleza porque le resulta útil hacerlo, sino que la estudia porque le da placer y le da placer porque la naturaleza es bella. Si la naturaleza no fuera bella no valdría la pena conocerla y la vida no valdría la pena vivirse. Me refiero a la belleza que proviene del orden armónico de sus partes y que la inteligencia es capaz de capturar. (Rojo, 2013, transcripción)

Werner Heisenberg⁸ —sigue refiriendo Rojo— estuvo interesado en la estructura estética de las teorías y escribió un tratado sobre el significado de la belleza en las ciencias exactas en donde se puede leer su concepto de belleza: “la belleza es la conformidad de las partes entre sí y con el todo” (Rojo, 2013, transcripción). Esta conformidad de las partes entre sí y con el todo presupone una estructura racional en ese todo. Heisenberg encuentra la belleza

6. Coincidiendo con la postura de Heidegger (cf. Heidegger, 1988, p. 63).

7. Henri Poincaré (1854-1912) físico francés y uno de los principales matemáticos del siglo XIX.

8. Werner Karl Heisenberg (1901-1976) fue un físico y Premio Nobel alemán, que desarrolló un sistema de mecánica cuántica en el cual la indeterminación o principio de incertidumbre ha ejercido una profunda influencia en la física y en la filosofía del siglo XX.

matemática como una característica de la naturaleza, ciertamente no niega que parte de esa belleza es conformada por la búsqueda de simplicidad y economía del investigador, pero verdaderamente no se habría llegado a esa belleza si la naturaleza no fuese bella. En una conversación con Einstein dice:

Cuando la naturaleza nos lleva a formas matemáticas de gran sencillez y belleza —con la palabra formas significo aquí sistemas ordenados de principios básicos, axiomas y demás—, a formas, digo que hasta entonces no han sido alcanzadas por nadie, no se puede dejar de creer que son “verdad”, es decir, que representan un rasgo auténtico de la naturaleza. Puede ser que estas formas traten, además, de nuestra relación con la naturaleza, que se dé en ellas también un elemento de economía del pensar. Mas como no se habría llegado nunca espontáneamente a estas formas, como nos han sido dadas primeramente por la naturaleza, pertenecen ellas también a la misma realidad, no sólo a nuestro pensamiento sobre la realidad. (Heisenberg, 1972, p. 87)

Respecto de la belleza matemática y el gozo que le produce esa belleza, sigue Heisenberg compartiendo con Einstein:

Me puede usted reprochar que empleo aquí un criterio estético de la verdad al hablar de simplicidad y belleza. Pero debo confesar que para mí emana una fuerza de convicción muy grande de la simplicidad y belleza del esquema matemático que nos es sugerido aquí por la naturaleza. Sin duda, debe usted haber experimentado también el estremecimiento que se siente ante la simplicidad y el orden perfecto de las interrelaciones que la naturaleza despliega de golpe ante nosotros, y para las que estábamos totalmente imprevistos (Heisenberg, 1972, p. 87)

Es muy importante entonces el concepto “científico” de la *belleza*: “conformidad de las partes entre sí y con el todo”, lo cual entraña una *simplicidad* en esa “conformidad”: la conformidad es como la *clave* que desanuda la madeja, la *llave* que abre a la racionalidad, a la conformidad con la razón científica.

El astrofísico Subrahmanyan Chandrasekhar en su libro “*Beauty and Truth*” ha afirmado en torno a la ciencia y la belleza: “un hecho increíble es que aquello que la mente humana en lo más profundo percibe como bello, encuentra su realización en el mundo externo” (Rojo, 2013, transcripción). El físico Paul Dirac,⁹ por su parte, consultado en la Universidad de Moscú sobre qué es lo más importante que debe tener una teoría científica, tomó una tiza y escribió en un trozo de pizarra que se conserva en dicha Universidad: “las leyes de la física deben tener belleza matemática” (Rojo, 2013, transcripción). En su libro “*Pretty Mathematics*” Dirac da testimonio de la importancia que tuvo la belleza matemática en el desarrollo de sus influyentes teorías. Cuando él encaró uno de sus trabajos más importantes que es el intento de la “reconciliación” entre la teoría cuántica y la de la relatividad, lo hizo “jugando” y buscando la manera “más sencilla y elegante” de producirla y de ese “juego de simplicidad y belleza” llegó a la verdad —la estructura de la antimateria entre otras cosas— el resumen de su trabajo podría sintetizarse en su frase: “la belleza matemática es importante en la teoría de partículas” (Rojo, 2013, transcripción).

Refiriéndose a la belleza y elegancia de la Teoría gravitatoria de Einstein (que desbarranca a la newtoniana y su misteriosa acción a distancia), se pregunta Paul Dirac si ella podría estar errada y se contesta que debido a su belleza y elegancia la respuesta debe ser *rotundamente no*:

9. Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984), físico teórico británico, premiado con el Nobel, y célebre por su predicción de la existencia del positrón, o electrón positivo, y por sus investigaciones en teoría cuántica.

¿Puede la teoría de Einstein tener siempre razón?¹⁰ Ahora hay pruebas adicionales. Afrontemos ahora la cuestión. Supongamos que hubiera aparecido una discrepancia, bien confirmada y fundamentada, entre la teoría y las observaciones. ¿Cómo se debe reaccionar ante ello? ¿Cómo habría reaccionado el propio Einstein? ¿Deberíamos entonces considerar que la teoría es básicamente errónea? Yo diría que la respuesta a la última pregunta es rotundamente no. La teoría de la gravitación de Einstein tiene un carácter de excelencia propio (Dirac, 1979, p. 13) (subrayado propio: H.M.)

Dirac apoya su aseveración sobre la excelencia de la teoría vinculando a dicha excelencia con un *sentir* que capta la belleza y que convence de la verdad de la teoría:

Cualquiera que aprecie la armonía fundamental que conecta la forma en que funciona la naturaleza y los principios matemáticos generales debe sentir que una teoría con la belleza y elegancia de la teoría de Einstein tiene que ser sustancialmente correcta. Si aparece una discrepancia en alguna aplicación de la teoría, debe ser causada por algún rasgo secundario relacionado con esa aplicación que no ha sido adecuadamente tenido en cuenta, y no por una falla de los principios generales de la teoría. Se tiene una gran confianza en la teoría que surge de su gran belleza, independientemente de sus éxitos detallados (Dirac, 1979, p. 13) (subrayado propio: H.M.)

10. Se refiere a la teoría gravitatoria de Einstein: “Einstein nos dio una nueva teoría de la gravitación relacionada con la curvatura del espacio. Inició una nueva línea de actividad para los físicos. Los puso a trabajar con un espacio no euclidiano. El tipo particular de espacio que introdujo Einstein fue el espacio de Riemann, un espacio que puede incrustarse en un espacio plano de un mayor número de dimensiones” (Dirac, 1979, p. 11) (traducción propia: H.M.).

Este autor “reconstruye” finalmente la causa que guió al genial científico, la confianza en la belleza matemática: “Debe haber sido tal confianza en la belleza esencial de la descripción matemática de la naturaleza lo que inspiró a Einstein en su búsqueda de una teoría de la gravitación” (Dirac, 1979, p. 13).

Como vemos, la experiencia estética del científico se traduce en un sentir interiormente que lo bello *debería ser* también verdadero *independientemente* de la confirmación externa experimental. Steven Weinberg —físico estadounidense premiado con el Nobel— dice algo que sintoniza con lo recién referido por Dirac sobre la Teoría de Einstein:

Existe otra cualidad, además de la simplicidad, que puede hacer bella a una teoría física: es el sentido de inevitabilidad que la teoría puede darnos. Al oír una obra musical o escuchar un soneto, uno siente a veces un intenso placer estético en el sentido de que nada en la obra podría ser cambiado, que no existe una nota o una palabra que a uno le hubiera gustado que fuera diferente. En la *Sagrada Familia* de Rafael la colocación de cada figura en el lienzo es perfecta. Quizá no sea de entre todas sus pinturas la favorita, pero cuando usted mira esa pintura, no existe nada que quisiera que Rafael hubiera hecho de otro modo. Lo mismo es verdadero en parte (aunque no sea más que en parte) para la relatividad general. Una vez que usted conoce los principios físicos generales adoptados por Einstein, usted comprende que Einstein no hubiera podido llegar a otra teoría de la gravitación significativamente diferente [...] El mismo sentido de inevitabilidad puede encontrarse (de nuevo sólo en parte) en nuestro moderno modelo estándar de las fuerzas fuerte y electrodébil que actúan sobre las partículas elementales. Existe una característica común que da tanto a la relatividad general como al modelo estándar buena parte de su sentido de inevitabilidad y de simplicidad: ambos obedecen a principios de *simetría*. (Weinberg, 2020, Cap. 6: La belleza de las teorías, parr. 9 y 11)

Roger Penrose, también se expresa en sintonía con Chandrasekhar y Dirac en su trabajo sobre la teoría de la relatividad general, donde marca la correlación entre las teorías que poseen ciertas propiedades estéticas y su proximidad a la verdad:

De hecho, es misterioso cómo algo que resulta bello puede tener más posibilidades de ser cierto que algo que resulta feo [...] He notado en muchas ocasiones en mi propio trabajo que, por ejemplo, podrían hacerse dos conjeturas sobre la solución de un problema y en el primer caso [la conjetura bella] pienso en lo bueno que sería si fuera verdad; mientras que en el segundo caso [la solución fea] no me importaría mucho el resultado aunque fuera cierto. De hecho, muy a menudo resulta que la posibilidad más atractiva es la verdadera (Penrose citado por McAllister, 1996, p. 90-91)¹¹ (traducción y aclaración entre corchetes propias: H.M.)

¿No habría que observar epistemológicamente en todas estas afirmaciones la incidencia de la metáfora y de la fusión y del sentimiento de verdad no como adecuación “mapa-territorio” sino de una verdad como *sentimiento*, como *fundación* de un sentido?

Haciéndose eco de la unión predictiva entre verdad y belleza, Hermann Weyl¹² ha dicho: “Mi obra siempre intentó unir la verdad con lo bello: pero cuando tenía que elegir una u otra, normalmente elegía lo bello” (Weyl, 1996, p. 91, nota al pie n° 4, traducción propia: H.M., cf. también Rojo en Bär, 2005, respuesta 6).

Rojo afirma que grandes avances de la ciencia en general y de la física en particular se han realizado de la siguiente manera:

11. La cita es de la p. 267 del artículo de Penrose, R. (1974). “The role of aesthetics in pure and applied mathematical research”. En: *Bulletin of the Institute of Mathematics and Its Applications*. Vol. 10, No. 2, 1974, pp. 266-271.

12. Hermann Weyl (1885-1955), fue un matemático alemán que hizo importantes contribuciones a la teoría cuántica y a la teoría de la relatividad.

[...] persiguiendo no la explicación de un experimento que no se entendía sino un horizonte de simplicidad, de elegancia, de simetría... Todos estos son criterios subjetivos por lo que podemos preguntar ¿por qué “Dios” —entendido este concepto en varios sentidos— va a crear una naturaleza que a nosotros nos resulte simétrica, elegante, sencilla? (Rojo, 2013, transcripción)

Esta pregunta de Rojo encierra dos cosas: por un lado, por qué motivo se supone que la realidad va a concordar o se va a ajustar a nuestro deseo de simetría (en base a esa búsqueda *a priori* de simetría) y por otro por qué efectivamente la realidad concuerda con él...

Trasladando el calificativo desde la obra científica a su hacedor, Alberto Rojo afirma que los grandes científicos han procedido y proceden como *artistas* atendiendo para la conformación de teorías a la búsqueda, predicción o postulación de elementos que hacen pie en criterios estéticos de simetría y belleza:

Einstein procede, en gran medida, como un artista. La primera frase de su artículo de 1905 sobre la relatividad es un argumento de simetría. A él le resulta raro que no sean simétricas las teorías anteriores. Es un criterio estético. Tanto su trabajo sobre el efecto fotoeléctrico como el de la relatividad invocan argumentos de simetría y de belleza [...] Hay otros ejemplos. Dirac enfatiza que las teorías tienen que ser simétricas y bellas, y con ese argumento predice la antimateria, cuya existencia luego se comprueba. Murray Gell-Mann predijo la existencia de los quarks, constituyentes fundamentales de protones y neutrones, con un argumento de simetría. Existe una tradición entre científicos prominentes de darle mucho valor a la belleza. (Rojo en Bär, 2005, respuesta 6)

Refiriéndose a los tres trabajos de Einstein publicados en 1905 (Efecto fotoeléctrico, Movimiento browniano y Teoría de la Relatividad especial, *Annalen Der Physic*, Vol. 17) dice Gerald Holton:

se observa que el estilo de los tres artículos es esencialmente el mismo, y que este estilo revela los elementos típicos del trabajo de Einstein de aquel tiempo. Los tres artículos comienzan con la constatación de asimetrías formales u otras incongruencias de naturaleza predominantemente estética (y no, por ejemplo, con algún dilema planteado por hechos experimentales aún no explicados), pasan luego a proponer un principio —preferentemente del grado de generalidad del segundo principio de la termodinámica, pongamos por caso, por citar la analogía repetida muy a menudo por Einstein— que elimina las asimetrías como una de las consecuencias deducidas de aquel, y, por último, presentando una o más predicciones empíricamente contrastables (Holton, 1993, p. 113) (subrayado propio: H.M.)

Einstein en el caso del artículo de la Teoría de la Relatividad donde hace el postulado de constancia de la velocidad de la luz no se basa en el desentrañamiento de fenómenos de la experiencia, sino que lo hace sobre un principio estético económico que lo guía (es este principio estético el que desde esta investigación sostenemos que anida en la praxis existencial):

El reconocimiento de estos elementos comunes a los tres artículos permite percatarnos de algo esencial: que los postulados fundamentales que aparecen en cada uno de los tres artículos son *heurísticos*. Einstein fue consciente desde el principio de la naturaleza *heurística* del postulado de la relatividad (como afirmó en 1907 y en ocasiones posteriores) debido a la restricción de la teoría de la relatividad a movimientos de traslación y el espacio desprovisto de gravitación. El estudio conjunto de los

tres artículos revelan también la medida en la que la Teoría de la Relatividad de Einstein representa un intento de restringir las hipótesis al *tipo más general y al menor número posible*: una meta sobre la que Einstein insistió a menudo. En el artículo de 1905 sobre la Teoría de la Relatividad de Einstein hace —además de las dos “conjeturas” elevadas a la categoría de “postulados” (es decir, el de la relatividad y el de la constancia de la velocidad de la luz)— sólo cuatro hipótesis más: una, la de la isotropía y homogeneidad del espacio, las otras, referentes a tres propiedades lógicas de la definición de sincronización de relojes. (Holton, 1993, p. 114)

Finalmente, Holton refiere que esta búsqueda de generalidad que es impulsada por la eliminación de asimetrías aúna las “revoluciones científicas” en el esfuerzo de búsqueda de una “pureza clásica”:

Quien haya estudiado el desarrollo de las teorías científicas detectará aquí un tema ya familiar: *la llamada “revolución” científica resulta ser en el fondo un esfuerzo por volver a una pureza clásica*. Esto constituye una clave con vistas a una nueva valoración de la contribución de Einstein, pero además apunta hacia una característica bastante general de las grandes “revoluciones” científicas. En efecto, aunque por lo común se subrayó que Einstein desafió a la mecánica newtoniana en puntos fundamentales, hay algo que, siendo igual de cierto que lo anterior, se suele olvidar, y es el número de correspondencias metodológicas con obras clásicas anteriores, por ejemplo, con los *Principia*. (Holton, 1993, p. 115)

Es interesante en este sentido el título de la obra de James W. McAllister ya referida: *Beauty and Revolution in Science* de 1996. Para nuestra investigación es importante señalar que aun cuando

se produzca una revolución como el paso de la mecánica newtoniana a la teoría de la Relatividad de Einstein, hay algo que sigue conectando lo viejo y lo nuevo en forma metafórica: un espíritu científico que boga por las simetrías y economías. Adolf Grünbaum cita a Einstein:

Poco a poco fui desesperando de poder descubrir las leyes verdaderas por medio de esfuerzos constructivos basados en hechos conocidos. Cuanto más tiempo y más ahínco consagraba a este intento, tanto más cerca llegaba a la convicción de que sólo el descubrimiento de un principio formal y universal podría conducirnos a resultados seguros. (Einstein citado por Grünbaum, 1993, p. 121)

Sintonizando con el hecho ya señalado por Rojo respecto de los grandes descubrimientos científicos (que se han hecho persiguiendo “no la explicación de un experimento [...] sino un horizonte de simplicidad, de elegancia, de simetría” —Rojo, 2013, transcripción—), este principio formal y universal intentado por Einstein surgió no de la observación de “hechos” sino de la imaginación impulsada por razones de simetría y de belleza.

Comenta Einstein que el ejemplo que tenía para seguir estéticamente era el de la termodinámica: “Aquí el principio general venía dado por el siguiente teorema: las leyes de la naturaleza son tales que es imposible construir un *perpetuum mobile* (de primera y segunda especie)” (Einstein, 1983, p. 53). La sentencia termodinámica tiene una economía que compendia el todo, en cuanto que todas las leyes de la naturaleza no pueden violarla, en este sentido es una formulación sintética y bella. Einstein se preguntaba: ¿Cómo encontrar un principio universal de esa clase que permita una construcción que ate cabos sueltos, resuelva paradojas e integre armoniosa y bellamente el todo? Tras diez años de reflexiones dicho principio resultó de una paradoja con la que ya

se había topado a los 16 años, al realizar un experimento mental. En ese entonces el joven Einstein *imaginaba* que si persiguiera un rayo de luz con la velocidad c (velocidad de la luz en el vacío) ¿qué vería? por un lado, debería verlo como el campo electromagnético oscilante que es, pero por otro (suponiendo que vale la adición y sustracción de velocidades) debería verlo en reposo, esto es con los campos eléctricos y magnéticos carentes de oscilación:

Sin embargo, parece ser que tal cosa no existe, ni sobre la base de la experiencia ni según las ecuaciones de Maxwell. Desde un principio me pareció entender intuitivamente claro que, vista la situación desde la posición de un tal observador, todo tendría que ocurrir según las mismas leyes que para un observador que se hallara en reposo con respecto a la tierra [...] Vemos que en esta paradoja está ya contenido el germen de la teoría especial de la relatividad [...] cualquier intento de resolver satisfactoriamente esta paradoja estaba condenado al fracaso mientras el axioma del carácter absoluto del tiempo, es decir, de la simultaneidad, siguiese anclado irreconocidamente en el inconsciente. Claro está que el reconocimiento de este axioma y su carácter arbitrario implica ya en realidad la solución del problema. En mi caso, el tipo de razonamiento crítico que precisaba el descubrimiento de este punto capital fue fomentado de modo decisivo por la lectura de los escritos filosóficos de David Hume y Ernst Mach. (Einstein citado por Grünbaum, 1993, p. 121-122)

Este experimento mental llevó a Einstein a postular que la velocidad de la luz es una constante universal siendo este el principio universal sintético —y por tanto bello— que él estaba buscando como *piedra angular* de la nueva Teoría de la Relatividad.

En el libro de Física para estudiantes de ciencia e ingeniería de Halliday, Resnick y Krane encontramos un resumen de las bondades y frutos de la búsqueda de simetrías en el “descubrimiento” científico:

Los físicos raramente se han equivocado al depender de las simetrías subyacentes en la naturaleza. Por ejemplo, después de saber que un campo magnético variable produce un campo eléctrico, es cosa fácil predecir (y sucede que es cierto) que un campo eléctrico variable produce un campo magnético. Se sabía que el electrón tenía una antipartícula (una partícula de la misma masa pero de carga opuesta), por lo que sería entonces lógico suponer que el protón tuviera también una antipartícula. Para confirmarlo, se construyó un acelerador de protones de la energía apropiada, y se descubrió en anti-protón. (Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 501) (subrayado propio: H. M.)

De nuevo, los grandes descubrimientos científicos se han hecho persiguiendo ese horizonte de simplicidad, de elegancia y de simetría señalado por Rojo (cf. Rojo, 2013, transcripción). Continúan diciendo Halliday, Resnick & Krane:

En el capítulo anterior [“La luz y la física cuántica”] estudiamos las propiedades de partícula de la luz y de otras radiaciones, las que analizamos tradicionalmente como ondas. Con base en la simetría, nos preguntamos lo siguiente: ¿tiene también la materia, que tradicionalmente la analizamos en forma de partícula, propiedades semejantes a las de ondas? En este capítulo [“Naturaleza ondulatoria de la materia”] demostramos que esta hipótesis es correcta, y estudiamos la mecánica de este comportamiento ondulatorio que se conoce como mecánica cuántica. Como lo veremos en los capítulos restantes, la mecánica cuántica proporciona los medios para entender el comportamiento fundamental de los sistemas físicos desde los sólidos hasta los quarks. (Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 501) (subrayado y aclaraciones entre corchetes propia: H. M.)

§. La búsqueda de simetrías y el tercio incluso

Es importante reparar que los ejemplos que venimos citando provienen —la mayoría— del mundo microscópico (física cuántica) y del mundo que podríamos llamar “megascópico” (ámbito de la cosmología, de la teoría de la relatividad). En estos dos ámbitos no hay experiencia o *praxis* que nos permita utilizar metáforas inteligibilizadoras “pre-armadas”, que hayan funcionado con éxito en la vida diaria.

Es por eso que nos enfrentamos en estos ámbitos a “lógicas” que nos resultan “ilógicas”. Por ejemplo que “un electrón” —al que imaginamos inicialmente como una “pelotita”— pueda estar simultáneamente en varios sitios a la vez, lo cual nos lleva a pensarlo más bien como algo “distribuido en el espacio” como una ola u onda (cf. *infra*: La metáfora de las “ondas” de potencialidad). La “incertidumbre” sobre su múltiple ubicación finaliza cuando es “observado” —por ejemplo al chocar con una pantalla experimental— generándose por tal observación la “pelotita” inicialmente imaginada (lo que era algo sutil y distribuido espacialmente se concretiza por la medición o “colapsa”¹³ en un corpúsculo).

Otro ejemplo paradigmático que habla de lógicas que no son las habituales del mundo macroscópico es el relato conocido como “el gato de Schödinger” (que traslada la lógica de lo que pasa en el mundo microscópico a la vida diaria y con el cual su autor —Erwin Schrödinger— intenta mediante un ejemplo absurdo atacar la posibilidad este “ser y no ser” al mismo tiempo): Este gato se encuentra encerrado en una caja con un dispositivo que puede liberar veneno aleatoriamente en cualquier momento. Lo que de acuerdo a la física cuántica sucede es que antes de la observación tendiente a conocer el estado

13. Notar la metáfora: la situación se imagina como una edificación distribuida volumétricamente en el espacio que “colapsa” y “se viene abajo” concentrándose toda la materia en un lugar, el piso...

del gato (mediante la apertura de la caja o “medición”) el gato está muerto y vivo a la vez. Abriendo la caja, la observación —o medición del observador— genera la realidad objetiva: el gato resulta o vivo o muerto (“colapso” de la función de onda asociada). Claramente se viola el principio lógico de tercio excluso: según este, el gato —inmediatamente antes de la apertura de la caja— estará vivo o bien muerto no habiendo una tercera posibilidad... Bueno, en física cuántica, de acuerdo al ejemplo del gato, esto no se cumple.

Alberto Rojo (2013) pone un ejemplo semejante: en el mundo macroscópico, una moneda encerrada en una caja está cara o seca previamente a la observación, mientras que en el mundo cuántico la moneda está en los dos estados a la vez y sólo una vez que se mide o se observa abriendo la caja se produce el *colapso* en “cara” o “seca”. Rojo dice que este comportamiento indica que en ese mundo cuántico o microscópico no hay una realidad objetiva previa a la observación.

Este hecho le da pie para relacionar un cuento de Jorge Luis Borges “El jardín de los senderos que se bifurcan” con la física cuántica (cf. Rojo, 2019). En este cuento Borges imagina un laberinto temporal, es decir, no hay bifurcación de caminos en el espacio sino bifurcaciones en el tiempo. Dichas bifurcaciones temporales explicarían lo acontecido con la moneda (en una bifurcación temporal la moneda está en estado *cara* y en la otra en estado *seca*). El precio conceptual de esta suposición es muy grande: no habría un solo universo sino múltiples universos que se irían reproduciendo instante a instante y se acumularían en una dimensión misteriosa (cf. Rojo, 2013, transcripción).

Como observamos, en el mundo microscópico se pueden dar tres situaciones: que algo “sea” (el gato está vivo, la moneda está lado “cara”), o que “no sea” (el gato está muerto, la moneda está lado “seca”) o que “sea y no sea al mismo tiempo” (el gato está vivo y muerto al

mismo tiempo, la moneda está lado “cara” y lado “seca” al mismo tiempo: lógica de *tercio incluso*).¹⁴

§. La belleza como dimensión de la verdad

McAllister se ha dedicado a investigar el lugar que ocupan las consideraciones estéticas en el trabajo científico y su legitimidad en la obra que ya hemos mencionado: *Beauty and Revolution in Science*. En ella el autor establece que para muchos científicos del SXX la belleza es un atributo de la verdad:

Una de las características más notables de la ciencia moderna es la convicción de muchos científicos de que su sentido estético puede conducirles a la verdad [...] Muchos científicos del siglo XX¹⁵ parecen creer que una bella teoría científica está destinada a acercarse a la verdad (McAllister, 1996, p. 90) (traducción y nota al pie propias: H.M.)

Que la verdad acompaña a (o es acompañada por) la belleza es una tesis de larga y gloriosa genealogía que rescata McAllister en el lema latino: “*Pulchritudo splendor veritatis*” (“La belleza es el esplendor de la verdad”) (McAllister, 1996, p. 91, traducción propia: H.M.), que el autor asocia a cualidades prácticas, esto es, tal doctrina no trata sólo de contemplación sino de eficiencia práctica:

14. Me permito sugerirle al lector o lectora una reflexión: esta ruptura de dicotomías taxativas que proviene de perseguir principios estéticos en el mundo *micro* ¿podríamos trasladarla metafóricamente al mundo *macro*? Quizás la lógica reinante en el mundo de lo pequeño nos ayude a disolver un poco los contornos herméticos de algunos dogmas y a relajar posturas demasiado rígidas.

15. Se refiere entre otros a R. Penrose, W. Heisenberg, P. Dirac, Hermann Minkowski, Hermann Weyl, es decir, científicos relacionados con ese mundo indómito de la física cuántica.

[se trata] de la doctrina de que existe necesariamente un acuerdo entre las características perceptuales de una entidad y sus cualidades prácticas. Esta doctrina fue ampliamente aceptada en el pensamiento griego clásico: está incorporada en el término *kalos kagathos*, que puede traducirse como “bueno a la vista y que manifiesta bondad en la acción” (McAllister, 1996, p. 92) (traducción propia: H.M.)

Es interesante para los matemáticos platónicos (como por ejemplo R. Penrose y K. Gödel) que esta doctrina del *kalos kagathos* incluya un aspecto moral o relacionado con el Bien (recordemos que el mundo platónico está estructurado bajo la idea del sumo Bien): “[El mundo matemático¹⁶] está embellecido con los otros ‘absolutos platónicos’ de belleza y moralidad, además de la verdad absoluta que debe encontrarse en las matemáticas. Belleza y verdad están entretejidas, la belleza de una teoría física actúa como guía en su corrección respecto del mundo físico, mientras que la cuestión [...] de la moralidad depende [...] del mundo de la mentalidad” (Penrose, 2006, p. 1377).

§. Juicio estético quasi-independiente del “juicio” de la empiria

En sintonía con esa fuerza persuasiva de la belleza que inclina a los científicos a confiar en su unión con lo verdadero y lo bueno, Dirac sostiene (respecto de la teoría einsteniana de la gravedad): “Uno tiene una gran confianza en la teoría que surge de su gran belleza, independientemente de sus éxitos detallados. [...] Uno tiene la abrumadora creencia de que sus fundamentos deben ser correctos, independientemente de su acuerdo con la observación”. (Dirac, 1979, p. 13-14, traducción y

16 Recordemos que en la tesis de los tres mundos de Roger Penrose (cf. *supra*: Capítulo 7), el mundo matemático determina al mundo físico y entra en sintonía con el mundo mental de los físicos-matemáticos. El dotar al mundo matemático de los atributos de Verdad, Bondad y Belleza, permite entender que las teorías resulten bellas (¿y que los físicos-matemáticos se vean inclinados hacia una alta moralidad?).

subrayados propios: H.M.). Esto es, el juicio estético de los científicos es de algún modo quasi-independiente del “juicio” de la empiria, en esto Dirac concuerda con Rojo (2013, cf. *supra*: *Testimonios científicos*) cuando afirmaba que los criterios estéticos son subjetivos, pero su adecuación a la empiria los hace de algún modo predictivos. Polivanoff rescata que McAllister propone la llamada “inducción estética”. Esta consistiría en el hecho de que una comunidad científica compila una especie de “canon estético”, adjuntando a cada propiedad estética una valoración proporcional al grado de adecuación empírica lograda. Atendiendo al título de su obra (*Beauty and Revolution in Science*) y generalizando su afirmación a la ciencia moderna dice Polivanoff:

McAllister sugiere que las revoluciones científicas sean consideradas como el repudio a las restricciones estéticas que una comunidad se ha acostumbrado a imponer en la elección de teorías. Una vez terminada la revolución, la inducción estética volverá a afectar las preferencias de los científicos. [...] Con este planteo busca superar la inconmensurabilidad de paradigmas, planteada por Kuhn. Las revoluciones consisten en cambios en los cánones estéticos y no en una sustitución total de los criterios para la elección de teorías. Los posibles resultados de la inducción estética son dos: o la inducción estética puede identificar las propiedades estéticas que conducen a teorías con altos grados de adecuación empírica, o falla y no logra identificar dichas propiedades. Mientras no podamos descartar que existan propiedades estéticas que conducen a teorías con altos grados de adecuación empírica, sería tonto de nuestra parte negarnos la posibilidad de descubrirlas. (Polivanoff, 2016, p. 126-127) (subrayado nuestro: H.M.)

Así, el conocimiento desde el argumento predictivo de lo bello o lo estético incluye tanto el componente sensitivo intuitivo (subjetivamente resulta simétrico, simple, bello, armonioso) como el racional (dado a través de esta especie de inducción que ha tenido éxito).

XXXIV. SIMETRÍA ARTÍSTICA Y NACIMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE

Veremos en este apartado que así como en el arte el lenguaje se vuelve ambiguo, invitando a la fusión del esteta y a un ir más allá de la información dada a los sentidos, de modo semejante en la ciencia dura, una oportuna búsqueda de simetrías (procediendo el científico como un artista), producirá una ambigüedad en la obra creada.

Este espíritu artístico que persigue simetrías produce el surgimiento de la “Mecánica cuántica” o de partículas en el ámbito de las ondas (lo que implica un migrar desde la metáfora de las olas a la de las partículas) y, simétricamente, la “Mecánica ondulatoria” o de ondas en el ámbito de las partículas (lo cual lleva a migrar de la metáfora de la partícula a la de la ola). Lo veremos a continuación.

§. *Olas de luz*

Metáfora acuática interpretando la difracción

La historia que termina entendiendo a la luz como un oleaje (una “onda”) arranca con nuestros sabios científicos del S. XVII: Hooke, Newton y Huygens. Newton, inmerso en su mundo de cuerpos e interacciones entre cuerpos, traslada metafóricamente esta mecánica de cuerpos o partículas al fenómeno de la luz: pensaba que ésta era una especie de “chorro” de partículas sujetas a las mismas leyes que el resto de las partículas materiales.¹⁷ Pero sus contemporáneos R. Boyle y R. Hooke (cf. Moledo, 2013, p. 340), observaron un fenómeno

17. Recordemos que Newton abrigaba la esperanza de poder explicar todos los fenómenos naturales fundándolos en la interacción de partículas o corpúsculos (cf. Newton, 1982, p. 6-7). Este punto de vista encontraba confirmaciones en las

muy curioso, la luz al atravesar una pequeña abertura, se abre en abanico como sucede con las olas del agua al llegar a un dique que les presenta un orificio:

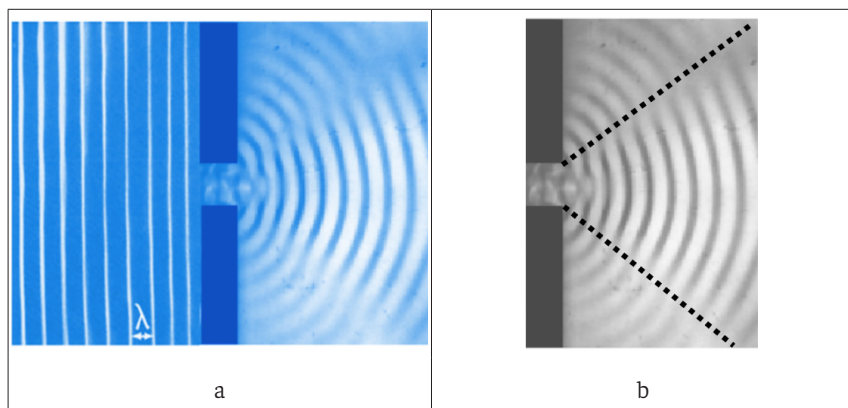


Figura N° 29: Metáfora hídrica que permitió interpretar la luz como un oleaje.

La figura “a” muestra lo que sucede cuando un conjunto de olas de frente plano (que imaginamos llegando por la izquierda) colisiona con un dique que presenta una ranura: se produce una abertura en abanico, es decir, se difractan (ilustración de Crowell, 2020, p. 923; Attribution-Share Alike license). La figura “b” acentúa marcando con línea punteada la abertura en abanico producida (modificación de la figura anterior con fines didácticos: H.M.).

El fenómeno mostrado en la figura quizás nos parezca natural desde nuestra experiencia en la vida diaria con las olas en el agua (y los posibles obstáculos que encuentran), pero en el ámbito de la luz este fenómeno llamado difracción nos revelaba metafóricamente el carácter ondulatorio de la luz. Boyle y Hooke observaron este fenómeno lumínico: al pasar la luz por una pequeña ranura u orificio y dar en una pantalla, en ella se observaban franjas alternativas de luz y oscuridad, cosa propia de una “onda”.

interpretaciones de las observaciones de lo que ocurría con la luz y los prismas (los colores) y con las sombras en el ámbito de la “óptica geométrica”.

La luz, entonces *no podía ser* las dos cosas al mismo tiempo (contra esto cf. *supra*: *La búsqueda de simetrías y el tercio incluso*): o era onda o era partícula y esto ponía en entredicho la teoría corpuscular de Newton. Hooke propuso una teoría ondulatoria que fue con el tiempo imponiéndose: la luz consiste en la vibración del medio que rodea la fuente luminosa. Notar el traslado metafórico desde el agua hacia ese medio sutil que se llamó “éter” donde deberían formarse el oleaje que constituiría la luz.

Alrededor de 1690, C. Huygens —en sintonía— describe la luz como un movimiento ondulatorio de la materia (el “éter”) que se encuentra entre nosotros y el cuerpo luminoso, y establece su famoso principio: todo punto de un frente de ondas que avanza —como las olas en el agua—, actúa como una fuente de nuevas ondas —u olas—. A partir de este principio Huygens desarrolló la teoría ondulatoria de la luz. En la perspectiva acuática, lo recién dicho se manifiesta en el siguiente hecho: al interponer a la ola un obstáculo con una abertura, los puntos del frente de onda —o de la ola— que llegan a la abertura se comportan como fuentes de olas, observándose el fenómeno llamado *difracción*.

Metáfora acuática interpretando la interferencia

Si en vez de una ranura el dique posee dos ranuras cercanas delgadas, en cada una de ellas se produce una difracción y —en la interacción de los dos fenómenos de difracción— aparece un nuevo fenómeno llamado *interferencia* que ha sido estudiado por Thomas Young (1773-1829). En 1801 este científico realizó el experimento conocido como “de la doble ranura” (cf. Serway & Jewett, 2009, p. 1052-1053). En tal experimento hizo incidir un haz lumínico monocromático sobre dos delgadas ranuras, obteniendo un patrón de interferencias sobre una pantalla (franjas alternadas de luz y sombra), similar al de las olas en el agua al chocar con un dique en el que se habían practicado dos ranuras. Así, en base a la metáfora

acuática no cabían dudas —por el momento— de que la luz consistía en un fenómeno ondulatorio o de oleaje etéreo.

Para visualizarlo podríamos generar en una pileta o recipiente una serie de olas con una barra o regla recta e interponer a este frente generado un dique o barra con dos aberturas relativamente pequeñas, cada una de estas aberturas se comportará como una fuente de ondas u olas. El efecto logrado se observa en la figura:

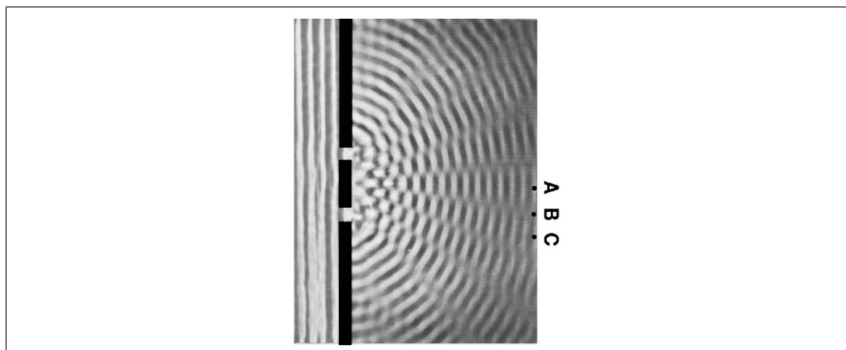


Figura N° 30: Metáfora acuática del experimento de la doble ranura. Las olas de frente plano que llegan por la izquierda, colisionan con un dique que posee dos aberturas. Se visualizan dos difracciones (abertura en abanico) de las olas acuáticas cuya interacción genera la interferencia (ilustración de Crowell, 2006, p. 200; Attribution-Share Alike license).

En la Figura N° 30, a la izquierda del dique se genera un frente de olas con una regla en movimiento de vaivén y se le interpone un dique con dos rendijas. Cada abertura del dique, se comporta como una fuente de oleaje, generándose a partir de cada una el fenómeno de la difracción. La interacción de estos dos trenes de olas generará que en algunos puntos una “cresta” se anule con un “valle” y se obtenga un trozo de superficie de agua sin perturbación, o bien que se sumen dos crestas (o correspondientemente dos valles) potenciándose la ola total. En los puntos como el **A** y el **C** habría cresta o valle (luz en el caso lumínico monocromático), en los puntos como el **B** habría anulación de una cresta con un valle (oscuridad en el caso de la luz monocromática). Lo que sucede

con la ola acuática sucede con la luz, evidenciando su naturaleza ondulatoria. Nótese cómo se inteligibiliza metafóricamente un fenómeno sutil como el de la luz con un fenómeno más palpable proveniente de la vida diaria.

A continuación mostramos el dibujo original de Young presentado a la Royal Society de Londres en 1803. En él **A** y **B** serían las aberturas análogas a las ranuras o rendijas del dique que se convierten en “fuentes” al ser golpeado el dique por una ola por la izquierda, o al ser iluminada la superficie ranurada por la izquierda con luz monocromática. Dice sobre la figura Thomas Young, que en ella se observan:

dos series iguales de ondas, que divergen de los centros **A** y **B**, y se cruzan de tal manera que en las líneas que tienden hacia **C**, **D**, **E** y **F**, contrarrestan sus efectos y el agua permanece casi lisa, mientras que en los espacios intermedios se agita” (Young & Kelland, n.d., p. XXI) (traducción propia: H.M.)

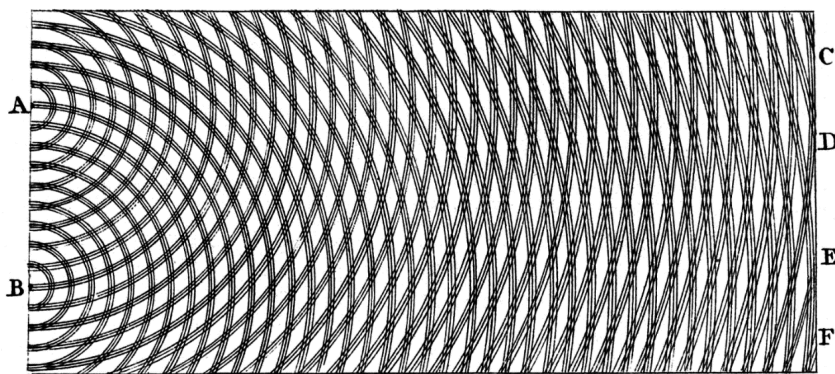


Figura N° 31: Dibujo original de Thomas Young mostrando los efectos de interferencia de ondas u olas que se superponen (el efecto se nota mejor colocando un ojo cerca del borde izquierdo y viendo la figura desde allí) (ilustración tomada de Young & Kelland, n.d., Fig. 267, obra con derechos expirados).

Notemos que a partir de cada abertura se produce el fenómeno de la difracción (cada abertura se convierte en fuente) y la combinación de las dos difracciones produce “interferencia”. La confluencia de dos “crestas” se suman (interferencia constructiva, forman una gran cresta = hay ola, hay luz, hay franja luminosa), mientras que la de una “cresta” y un “valle” se anulan (interferencia destructiva, no hay ola = no hay luz, franja oscura).

§. *Conflicto en el SXX: corpúsculos de luz*

Pero, si bien la difracción y la interferencia nos llevan a conceptualizar a la luz como si fuera un oleaje o un tren de olas u ondas, en el SXX se descubrieron algunos fenómenos nuevos que no pueden explicarse con la metáfora del oleaje sino mediante la metáfora del corpúsculo de luz:

Fenómenos nuevos como la dispersión de la luz, que da origen al efecto Compton [choque de una “partícula” de luz con un electrón], y la emisión fotoeléctrica de electrones [...] demuestran que la luz es corpuscular, es decir, está formada por partículas [como si fuese un chorro de partículas llamadas fotones]. Sin embargo, la consecuencia no fue el inmediato abandono de la teoría ondulatoria de la luz, porque los fenómenos de interferencia y difracción se continúan realizando, lo que se intentó fue inventar una teoría nueva que de alguna manera combine las características de la teoría ondulatoria y de la teoría corpuscular. La nueva teoría fue desarrollada [...] por muchos investigadores, desde Planck y Einstein, hasta Schrödinger y Heisenberg, y constituye la base de la actual mecánica cuántica (Christy & Pytte, 1971, p. 317)

En la actualidad a la ondulatoria y a la corpuscular se las toma como dos teorías complementarias (principio de “complementariedad” de

N. Bohr, cf. Heisenberg, 1959, p. 34), ya que el desarrollo de la llamada teoría cuántica ha llevado al reconocimiento de que en algunos experimentos la luz se comporta como un chorro de partículas (cf. Efecto Compton) y en otros como una onda (cf. experimento de la doble ranura de Young). Es decir, depende del escenario experimental preparado el que se manifieste una naturaleza u otra.

¿Se puede aislar un rayo de luz?

En un nivel más avanzado de didáctica algunos autores (por ejemplo Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 348) se proponen “aislar un rayo de luz”, esto es pensar que puede lograrse que la luz se manifieste como un chorro de “fotones” que en “fila india” pasan por una muy pequeña abertura. Pero desde la metáfora acuática (cf. *supra*: Figura N° 29) ya nos queda claro que esto no es posible, debido al fenómeno llamado difracción. Esto se verifica en el caso de la luz confirmando la teoría ondulatoria: haciendo pasar la luz por aberturas cada vez más estrechas, el resultado es que la luz se abre en abanico cada vez más abierto. Así, siendo entendible desde el símil acuático de las olas, la naturaleza ondulatoria de la luz se manifiesta.

La metáfora acuática, permite inteligibilizar estos efectos y es importante en educación. Algunos libros (como Serway & Jewett, 2009, p. 981) olvidan la imagen acuática y presentan toda una construcción matemática que se presta a ¡no visualizar la esencia cualitativa del fenómeno!

Desde la metáfora acuática presentada en la Figura N° 29, podemos comprender que debido a la naturaleza ondulatoria o representable mediante olas, al intentar aislar un rayo de luz se produce la abertura en abanico mostrada cualitativamente en la siguiente figura:

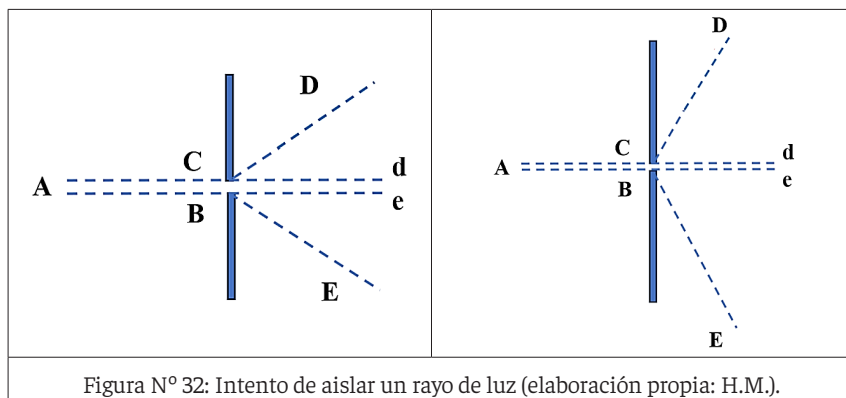


Figura N° 32: Intento de aislar un rayo de luz (elaboración propia: H.M.).

En la Figura N° 32, se intenta aislar un rayo de luz reduciendo el ancho de la ranura **CB**, en vez de producirse una trayectoria colimada **ed** se produce una abertura en abanico **CBED** cada vez más amplia a medida que se reduce el ancho **CB**.

§. *Mecánica cuántica: de la metáfora de las olas a la de las partículas*

“Mecánica cuántica” hace referencia a que lo que siempre se pensó sobre la radiación, que era un fenómeno distribuido, como el oleaje, se comportaba también como cuantos o partículas.

El advenimiento de la física cuántica nace con M. Planck y su afirmación —publicada en 1900— que la energía está cuantificada: “La idea de que la energía sólo podía ser emitida o absorbida en cuantos discretos de energía era tan nueva que no se la podía incorporar a la estructura tradicional de la física” (Heisenberg, 1959, p. 19). Tan nueva es la conclusión de Planck que divide a la física en *clásica* y *cuántica* o de los cuantos. Esta idea de Planck le permite a Einstein (cf. Heisenberg, 1959, p. 21) explicar el efecto fotoeléctrico y a Compton explicar el efecto que lleva su nombre (cada uno de ellos gana el premio Nobel en 1921 y 1927 respectivamente). En estos dos últimos fenómenos la luz actúa como “corpúsculos” llamados “fotones”, esto es, no funciona como una onda.

Surge la duda: la luz ¿es corpúsculos o es onda? En el experimento de la doble ranura se comporta como onda pero en el efecto fotoeléctrico y en el efecto Compton lo hace como partícula. La partícula es un fenómeno localizado, algo que ocupa un pequeño espacio, mientras que la onda es algo extendido que abarca grandes regiones... En principio parecía imposible que algo sea a la vez estas dos cosas tan distintas, pero los experimentos y la fuerza de la simetría llevó a no excluir ninguna de las dos metáforas explicativas y a usarlas como complementarias como veremos (cf. *infra*: *Principio de complementariedad*).

§. *Mecánica ondulatoria: de la metáfora de la partícula a la de la ola*

“Mecánica ondulatoria” hace referencia a que lo que siempre se entendió como partícula (por ejemplo los electrones) se presenta ahora con rasgos de onda u oleaje.

Uno de los criterios de belleza en ciencia lleva a buscar simetrías entre los fenómenos naturales. Que dos cosas dispares sean simétricas o correspondientes produce a la vez una sensación de simplicidad, de armonía, de sinóptica. En sintonía con esto, el físico francés Louis De Broglie (1892-1987) observó que por un lado, la luz estaba representada tradicionalmente mediante dos metáforas antitéticas: o bien como un chorro de pequeñas partículas —modelo al que adhería Newton y cuyas partículas de luz Einstein llamó *fotones*— o bien como ondas que en los albores de la ciencia moderna se pensaban como olas formadas en el éter (según la metáfora de Huygens). El electrón (una de las partículas subatómicas) durante años se consideró como una “partícula”, esto es, como algo semejante a una pequeña esferita o *pelotita* (siguiendo la metáfora que se tradujo en el modelo planetario del átomo).

Revolucionariamente De Broglie preanunció basándose exclusivamente en *argumentos de simetría* que el electrón y toda partícula material *debía* tener —además del corpuscular— un comportamiento

ondulatorio (cf. Heisenberg, 1959, p. 23-24), como si de un *oleaje* se tratara. Lo hizo en su famosa hipótesis en 1924 lanzada en su disertación doctoral. El razonó de la siguiente manera:

(a) La naturaleza es sorprendentemente simétrica de muchas maneras; (b) nuestro universo observable está compuesto totalmente de luz¹⁸ y de materia; (c) teniendo en cuenta la dualidad onda-partícula de la luz, quizá también la materia goce de esta dualidad. Ya que entonces se consideraba a la materia como compuesta de partículas, el razonamiento de De Broglie sugirió que debía investigarse si la materia se comporta como ondas¹⁹ (Halliday & Resnick, 1977, p. 1645) (notas al pie propias: H.M.)

Comentan Serway y Jewett que “esta era una idea en extremo revolucionaria que en esas fechas no tenía confirmación experimental” (Serway & Jewett, 2009, p. 1168). Los experimentos que verificaron esta hipótesis de De Broglie son de factura posterior, el físico francés sólo lo podía suponer como algo casi necesario basado en argumentos de la simetría existente entre la radiación y la materia.²⁰

18. Radiación electromagnética no reducible sólo al espectro visible.

19. Comentan los autores: “La sugerencia de De Broglie quizá no hubiera recibido seria atención si él no hubiera predicho cuál debía ser la longitud de onda que era de esperarse a las llamadas ondas de materia. Recordemos que en 1680, Huygens propuso una teoría ondulatoria de la luz que no recibió aceptación general, en parte porque Huygens no pudo precisar cuál era la longitud de onda de la luz. Cuando Thomas Young rectificó este defecto en 1800, comenzó a aceptarse la teoría ondulatoria. De Broglie supuso que la longitud de onda de las ondas de materia predichas, debería estar dada por la misma relación aplicable a la luz” (Halliday & Resnick, 1977, p. 1645). Pensamos que esto se debió en parte al peso de la autoridad de Newton que fiel a su concepción mecánica se inclinaba por una representación de la luz como un chorro de pequeños cuantos de luz (fotones).

20. De Broglie postuló la frecuencia (f) y la longitud de onda (λ) de la onda asociada al electrón basándose en un principio estético o de simetría: si la energía (E) de un fotón o corpúsculo de luz —según Einstein en el efecto fotoeléctrico— era el

Unos años después de lanzada la hipótesis, los experimentos de difracción realizados por Davisson y Germer en Estados Unidos (1927), por G. P. Thomson en Inglaterra (1928) y Ponte en Francia (cf. De Broglie, 1939, p. 30) confirmaron la naturaleza ondulatoria del electrón, por lo que De Broglie se congratula de tales verificaciones experimentales:

En la nueva teoría, pues, todo sucede como si la onda controlara todo el movimiento de los corpúsculos, y por lo tanto los electrones dispersados por el cristal²¹ están destinados a concentrarse en esas direcciones privilegiadas de dispersión que acabamos de mencionar. Y esto es precisamente lo que han demostrado los experimentos, proporcionando así una sorprendente confirmación de las nuevas ideas. Esta confirmación, además, ha sido cuantitativa desde que se verificó con gran precisión la exactitud de la ecuación fundamental de la mecánica ondulatoria: $\lambda = h/(m \cdot v)$. Esta ecuación nos da la longitud de onda, λ , asociada a un corpúsculo de masa m y velocidad v , introduciendo la constante cuántica h (De Broglie, 1939, p. 53) (Traducción y nota al pie propias: H.M.)

producto de la constante de Planck (h) por la frecuencia (f), esto es $E = h \cdot f$, y la longitud de la onda luminosa (λ) asociada a los fotones de determinado momento (p) venía dada por el cociente entre la constante de Planck (h) y dicho momento, esto es, $\lambda = h/p$, análoga y simétricamente debería suceder que la frecuencia y la longitud de la onda asociada a un electrón de energía E y momento $p = m \cdot v$ fueran $f = E/h$ y $\lambda = h/(m \cdot v)$ (cf. Christy & Pytte, 1971, p. 353). Esta idea condujo al desarrollo de la teoría de la *mecánica cuántica de ondas* para describir la física de los átomos y las partículas subatómicas.

21. La estructura periódica de un sólido cristalino actúa como una rejilla de difracción, produciendo la difracción de la onda asociada al electrón en las “direcciones privilegiadas” mencionadas por De Broglie. Relacione el lector lo dicho con lo mostrado en *supra* Figura N° 29, N° 30, N° 32 e *infra* Figura N° 33.

Notemos que la ciencia a veces sin un experimento validante hace postulaciones en base a un “paradigma” de simetría o de belleza que ha funcionado en otros casos, esto es, se traslada metafóricamente ese esquema de correspondencias simétricas de un ámbito a otro.

Finalmente, Erwin Schrödinger anuncia que las dimensiones de onda y partícula deben amalgamarse, aclarando que un comportamiento u otro depende no de la cosa en sí sino de la disposición experimental empleada.²²

[...] la distinción entre partículas y ondas ha desaparecido, porque se descubrió que todas las partículas tienen también propiedades ondulatorias, y viceversa. Ninguno de los dos conceptos se debe desechar, ellos deben amalgamarse. Qué aspecto sobresalga depende no del objeto físico sino del instrumento experimental usado para examinarlo (Schrödinger, 1957, citado por Rodríguez García & Virgós Rovira, 1999, p. 21)

Así, el electrón durante años considerado como una “partícula”, esto es, como algo semejante a una pequeña esferita o *pelotita*, manifestaba —en unos experimentos del siglo XX en el ámbito de lo que se denominó mecánica ondulatoria— un comportamiento semejante a una onda u “ola” abandonándose su exclusiva

22. E. Schrödinger fue un físico y filósofo austríaco que recibió el Premio Nobel de Física por sus contribución a la teoría cuántica al haber desarrollado la ecuación que lleva su nombre. El subrayado que proponemos al lector o lectora se debe a que a Schrödinger le costaba concebir que a escala de las partículas subatómicas el mundo fuera impredecible (en tanto que no se sabe si tratamos con ondas o partículas). Compartía con su amigo Albert Einstein que “Dios no jugaba a los dados” (frase de Einstein en una discusión con Bohr), es decir que el principio de causalidad debería seguir rigiendo también en el mundo micro. Así, no podía existir una aleatoriedad *intrínseca* a la naturaleza, por lo que las incertidumbres no estarían en la naturaleza sino en la imperfección de métodos y conocimientos humanos (cf. *infra*: *Incetidumbre: ¿un problema de los instrumentos de medida?* y *¿La incetidumbre está en el método o la ignorancia del observador?* en el Capítulo 9).

representación como partícula. Claramente una representación es “localizada”, con límites determinados respecto de su entorno (como una pelotita sólida) y la otra no,²³ por lo que se tomó conciencia de que la concepción “clásica” sobre el electrón como partícula entraba en crisis.

Experimento de la doble ranura con electrones

Finalmente, el experimento de la doble ranura²⁴ se repitió con un “chorro” de electrones (a los que se tenía clásicamente por partículas) obteniéndose un comportamiento similar al de las ondas: el fenómeno llamado electrón mostró además de su tradicional comportamiento corpuscular un nuevo comportamiento ondulatorio —como si fuese una onda— (cf. Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 418 y 502; Hewitt, 2007, p. 608). Así como algunos fenómenos luminosos pueden ser inteligidos desde la metáfora de la onda y otros desde la metáfora del corpúsculo (fotón), así también algunos fenómenos asociados al electrón pueden inteligirse mediante la metáfora de la onda y otros mediante la metáfora sustancializadora del corpúsculo. En todo esto está entrañado el principio de incertidumbre de Heisenberg ya anunciado (cf. *supra*: *No hay hechos sino interpretaciones metafóricas*, subtítulo: *Fusión: a mitad de camino entre el observador y lo observado* en el Capítulo 1) y que a continuación tratamos.

23. Una ola es un fenómeno *distribuido* en el espacio, es decir, que se extiende hasta donde lo permita el continente del líquido, en este sentido no es un fenómeno *localizado* como una pelotita sólida y —respecto de tal pelotita— de difícil definición de sus límites exactos —¿cuáles son los límites *exactos* de una ola acuática?—.

24. Halliday, Resnick y Krane anotan que estos experimentos pudieron realizarse “en años recientes, cuando se disponía de los aparatos precisos necesarios para producir rendijas angostas o haces estables” (Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 503-504).

§. *Principio de Incertidumbre de Heisenberg*

Todo esto dio lugar a la incertidumbre en el mundo subatómico ¿onda o partícula o ambas cosas? Tal incertidumbre será expresada por W. Heisenberg en forma matemática en su famoso *Principio de Incertidumbre*.

En un partido de tenis o de fútbol, podríamos determinar con bastante exactitud (y simultáneamente) la posición y velocidad de la pelota. En el mundo macrofísico, la incertidumbre respecto de la posición y la velocidad resulta despreciable. Pero en el mundo microfísico, Heisenberg estableció que si se pretende establecer la posición y la velocidad de una partícula en forma simultánea, esto será a condición de aceptar la realidad de una *incertidumbre* ineliminable (elevada a la categoría de *principio*) de tal modo que si ajustamos o precisamos la medida de la posición perderemos la precisión en la medida de la velocidad y viceversa. Heisenberg estableció su famoso principio en la reunión de físicos en Copenhague de 1926:

Podía hablarse de la posición y de la velocidad de un electrón, como en la mecánica de Newton, y podían observarse y medirse estas cantidades. Pero no podían fijarse ambas cantidades simultáneamente, con una exactitud arbitrariamente elevada. En realidad, el producto de estas dos inexactitudes resultó ser no menor que la constante de Planck dividida por la masa de la partícula. Relaciones similares podían formularse para otras situaciones experimentales. Usualmente se las llama relaciones de incertidumbre o principio de indeterminación. Aprendimos, pues, que los viejos conceptos se ajustaban a la naturaleza sólo incorrectamente. (Heisenberg, 1959, p. 28-29)

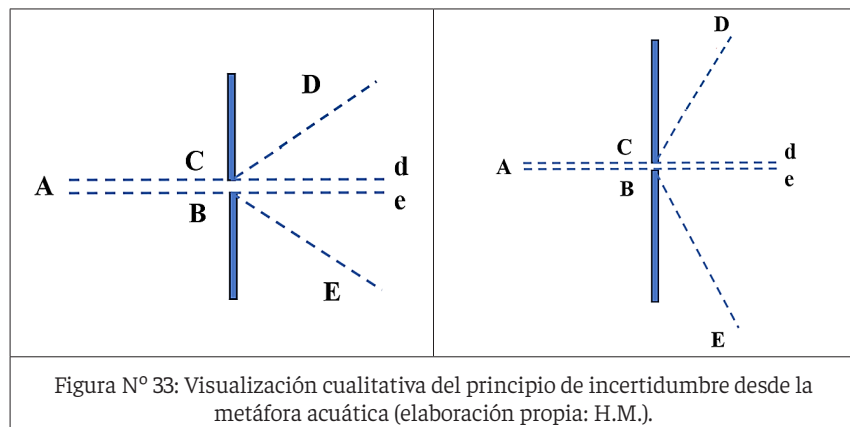
El principio de indeterminación o incertidumbre de Werner Heisenberg es uno de los ladrillos básicos de la Física Cuántica, por el

que Heisenberg obtuvo el premio Nobel en 1932. Afirma hablando en términos clásicos que no se puede conocer simultáneamente con gran precisión la “posición” y “velocidad” del electrón (cf. Serway & Jewett, 2009, p. 1175-1176). Matemáticamente la incertidumbre en la medida de la velocidad multiplicada por la incertidumbre en la medida de la posición tiene un valor que no puede ser inferior a un valor constante (la llamada *constante de Planck* dividida por la masa de la partícula). Notemos que en esta formulación el electrón está siendo metaforizado principalmente como partícula, ya que se habla de una “posición”.

El principio de incertidumbre entraña dos metáforas

El Principio de Incertidumbre contiene entrañadas en su formulación las dos metáforas contradictorias de la pelotita (fenómeno localizado) y de la ola (fenómeno distribuido en el espacio).

Volvamos a la Figura N° 32 pero esta vez para visualizar cualitativamente el principio de incertidumbre y siempre teniendo en mente la metáfora hídrica mostrada en la Figura N° 29:



En la Figura N° 33, al intentar conocer más precisamente la posición del electrón —metaforizado como pelotita— reduciendo

más y más el ancho de la ranura **CB** (figura de la derecha), se produce una indeterminación cada vez mayor en la velocidad del electrón, reflejada en la abertura en abanico **CBED**.²⁵ Esto se debe a su comportamiento ondulatorio, es decir según la metáfora de las olas. De este modo observamos como el principio de incertidumbre de Heisenberg entraña las dos metáforas complementarias: la de la pelotita y la de la ola. Si el lector o lectora lo desea, puede consultar el Anexo 6: *Visualización y matematización parcial del principio de incertidumbre*.

§. Principio de complementariedad

El problema de las metáforas en el mundo microscópico

Como adelantamos, en la física cuántica la metáfora del electrón como partícula sólo encaja parcialmente y restringiendo mucho el concepto que traemos desde el mundo macroscópico. Desde nuestra experiencia cotidiana asociamos a lo que entendemos por “partícula” o cuerpo estas características: que puede determinarse su posición, su velocidad y su trayectoria. Según Heisenberg, en los niveles microscópicos sólo podremos hablar de “partícula” cuando al mismo tiempo admitamos que no podemos determinar totalmente ni su posición, ni su velocidad, ni hablar de su trayectoria (cf. *supra*: *Principio de incertidumbre de Heisenberg*).

Sucede que la consideración del electrón como partícula no es un hecho sin más sino una interpretación mediada por una metáfora. La experiencia de la doble ranura (cf. *supra*: *Experimento de la doble ranura con electrones*) lleva a interpretar al electrón con otra metáfora

25. Recordemos que la velocidad es una *magnitud vectorial*, esto es, además de intensidad, tiene dirección y sentido. Así la abertura en abanico nos habla de una dirección que está haciéndose cada vez más indeterminada.

totalmente diversa: la de la ola u onda. Por momentos conviene la onda por momentos la partícula. Debemos admitir que nuestros órganos de asimilación de la realidad o “cantera de analogías” que han tenido éxito han sido destilados desde nuestra andadura por el mundo macro; es allí en donde han tenido éxito. En el mundo microfísico, estos esquemas encajan sólo parcialmente dando lugar a la ambigüedad. En su lenguaje dice Heisenberg:

En la anterior física de la corteza atómica se podía partir todavía de imágenes intuitivas, tomadas del repertorio de la física clásica... Pero en la física de las partículas elementales no se podrá hacer prácticamente nada con semejantes imágenes. Esta física es aún mucho más abstracta (Heisenberg, citado por Pérez Fernández, 2022, p. 223)

Ya hemos hablado del origen metafórico de estas imágenes tomadas del repertorio de la física clásica. Este encajar sólo parcialmente da lugar a varias metáforas para describir al mismo fenómeno que se encuentra “detrás” de sus manifestaciones. El ser consciente de la participación activa del observador en la determinación de lo observado lleva a decir a Heisenberg:

En la medida en que en nuestro tiempo puede hablarse de una imagen de la Naturaleza propia de la ciencia natural exacta, la imagen no lo es en último análisis de la Naturaleza en sí; se trata de una *imagen de nuestra relación con la Naturaleza*. La antigua división del Universo en un proceso objetivo en el espacio y el tiempo por una parte, y por otra parte el alma en que se refleja aquel proceso, o sea la distinción cartesiana de la *res cogitans* y la *res extensa*, no sirve ya como punto de partida para la inteligencia de la ciencia natural moderna. Esta ciencia dirige su atención ante todo a la red de las relaciones entre hombre y Naturaleza: a las conexiones determinantes del hecho de que

nosotros, en cuanto seres vivos corpóreos, somos parte dependiente de la Naturaleza, y al propio tiempo, en cuanto hombres, la hacemos objeto de nuestro pensamiento y nuestra acción.

La ciencia natural no es ya un espectador situado ante la Naturaleza, antes se reconoce a sí misma como parte de la interacción de hombre y Naturaleza (Heisenberg, 1985, p. 26)

Prácticamente, Heisenberg reformula aquí el concepto de *ciencia natural*, modernamente considerada hasta aquí como una observación en la que el observador —con los cuidados necesarios— podía quedar “fuera” de la misma. Con la nueva física la *ciencia natural* incluye en la observación al observador y sus metáforas. La inteligencia o el “leer dentro” de las cosas (*intus-legere*, cf. Tomás de Aquino, 2016, p. 143; Juan Pablo II, 1989, punto 1; Rojas, 2017, p. 8) no constituye ya un acto pasivo sino profundamente activo, que arriesga con las propias metáforas. Por eso sostenemos que el mecanismo metafórico es un proceso de inteligencia natural y sostendremos que la inteligencia no es sólo “leer dentro” de las cosas sino también escribir activamente dentro de las mismas (cf. infra: *Inteligencia “leer dentro” pero también “escribir dentro” en Conclusiones: promesas cumplidas y apostillas finales*).

En el mundo micro no alcanza una sola metáfora

Contrariamente a lo que nos ha acostumbrado el mundo cotidiano macroscópico, aquí no alcanza una sola metáfora. Bohr lo ha establecido en el llamado principio de complementariedad, donde las metáforas no son contradictorias sino complementarias:

Los aspectos de onda y de partícula de una entidad cuántica son ambos necesarios para una descripción completa. Sin embargo, no pueden revelarse los dos aspectos simultáneamente en un sólo experimento. El aspecto que se revele está determinado

por la naturaleza del experimento que se lleve a cabo. (Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 522-523) (subrayado propio: H.M.)

Dice Hewitt que en ámbito del fenómeno llamado electrón, Bohr expresa que el experimento define lo que aparece, comportamiento corpuscular u ondulatorio, es decir, lo que se espera encontrar (onda o partícula) eso se encuentra:

Como dijo Bohr, los fenómenos cuánticos muestran propiedades complementarias (mutuamente excluyentes), y aparecen como partículas o como ondas, dependiendo de la clase de experimento efectuado. Los experimentos diseñados para examinar intercambios individuales de energía y de cantidad de movimiento resultan en propiedades de partículas; mientras que los experimentos diseñados para examinar la distribución espacial de la energía resultan en propiedades ondulatorias. Las propiedades ondulatorias de la luz y las propiedades corpusculares se complementan entre sí, y ambas son necesarias para comprenderla [está haciendo una analogía o planteando una simetría en el mundo cuántico]. La parte más importante depende de lo que pregunte uno a la naturaleza. (Hewitt, 2007, p. 613) (subrayado y comentario entre corchetes propios: H.M.)

XXXV. LA TRAICIÓN DE LAS METÁFORAS

§. *Trampa metafórica: la conciencia de las partículas*

Si olvidamos esta naturaleza complementaria de las dos metáforas en el mundo microscópico podemos caer en la ilusión de que las “partículas” tienen algún tipo de conciencia, que las conduciría a variar su comportamiento según el escenario experimental al que son expuestas.

Supongamos que un investigador quiere saber que pasa con un “chorro” de fotones (pelotita de luz) o de electrones (pelotita sólida) al atravesar una o dos delgadas ranuras. Para esto dispone de un aparato que a modo de un cañón lanza las “partículas” hacia las ranuras, ubicando detrás de dichas ranuras una pantalla con el objeto de registrar en que sitios de la misma las partículas la impactan.

Supongamos también que el obstáculo interpuesto entre el cañón y la pantalla tiene inicialmente dos ranuras pero es posible obturar o tapar una de ellas, con la finalidad de cambiar el experimento de dos a una ranura y ver qué sucede. Mientras están las dos ranuras abiertas las partículas producen el efecto de *interferencia* y cuando se tapa una de las ranuras producen el efecto de *difracción* cuyos símiles acuáticos hemos referido (en Figuras 29; 30; 31; 32 y 33). Esto es, en su dinámica estas “partículas” arrojadas sobre las ranuras muestran —luego de atravesarlas— un comportamiento similar al de las “olas” o de las ondas. Esto no debería sorprendernos, ya que el principio que rige la dinámica de estas “partículas” del mundo micro es el de *incertidumbre* que —como vimos— involucra las dos metáforas (pelotita y ola).

Si olvidamos la metáfora de la ola y pensamos el experimento desde la única metáfora de la pelotita, caemos en una confusión que nos lleva a pensar que las “partículas” tienen conciencia. Veamos: suponiendo que se está realizando el experimento con las dos ranuras abiertas, obtenemos en la pantalla un clásico patrón de interferencia y si se tapa una de las ranuras desaparece el fenómeno de interferencia (propio de las dos ranuras) quedando de manifiesto el fenómeno de difracción (en concordancia con la única ranura que permanece abierta). Esto significa —si pensamos en “partículas”— que las “partículas” que vienen atravesando la ranura que permanece abierta, cambian de repente su comportamiento cuando se tapa la ranura adyacente, modificando su trayectoria e impactando sobre la pantalla en lugares que no alcanzaban con la otra ranura destapada. Entonces la sorpresa y la pregunta: ¿Cómo sabe la “partícula” que atraviesa la ranura abierta que la otra ranura se ha tapado y que entonces *debe* cambiar su comportamiento cambiando su “trayectoria” para dejar de formar el patrón de interferencia y formar el de difracción en la pantalla?

Esto da lugar a hablar de la “conciencia” de la “partícula” (cf. Moledo 2013, p. 523 y Hewitt 2007, p. 607), como si ella “advirtiera” qué tipo de medida se está realizando sobre ella (con una o dos ranuras) y decidiera comportarse en concordancia. Creemos que esto es un abuso metafórico, que proviene de priorizar la metáfora de la partícula sobre la de la onda (notar que en la pregunta formulada ¿Cómo sabe la “partícula”...? Se está pensando en un fenómeno sólo corpuscular durante todo el experimento).

Tal priorización de una de las metáforas produce varios malentendidos, por eso algunos científicos dicen que hay que olvidarse por un momento de la metáfora de la “partícula” (cf. *infra*: *Hay que olvidarse por un momento de la partícula y No hay necesidad de hablar de un principio de incertidumbre*).

§. Algunas aclaraciones aristotélicas de Heisenberg

La metáfora de las “ondas” de potencialidad

En este tema que ha recibido tantos tratamientos divulgativos distorsionantes, vamos a guiarnos a través de las explicaciones del mismo padre del principio de Incertidumbre: W. Heisenberg, brindadas en su libro titulado sugerentemente: *Física y Filosofía* (Heisenberg, 1959). A partir de las paradojas señaladas por las dos metáforas interpretativas, el arduo revestimiento matemático del fenómeno llamado electrón llega a asociarle una “onda de materia”, que a su vez se interpreta como una “onda de probabilidad”, pero que es en realidad una “onda de potencialidad” de tipo aristotélico (Heisenberg, 1959, p. 27, se refiere a las categorías aristotélicas de “acto y potencia”²⁶). Es decir, esta onda no supone que exista una trayectoria del electrón “cuasi desconocida” pero existente... o conocida sólo probabilísticamente pero trazada realmente en la realidad.

En concreto podemos sostener que no hay trayectoria ni partícula, solo una onda asociada, no “electromagnética” como la de la luz sino matemática, que “colapsa” al producirse la medición durante el experimento, pasando de la “potencialidad” al “acto” y haciéndose presente —entonces— la partícula “en acto”. Esto elimina toda especulación sobre una supuesta conciencia de la “partícula”, se puede leer con fruto en la obra referida todo el razonamiento de Heisenberg (cf. Heisenberg, 1959, p. 30-42). Rescatamos aquí el siguiente pasaje:

Más tarde, cuando quedó fijada la estructura matemática de la teoría cuántica, Bohr retomó esta idea de probabilidad, y dio una

26. Aristóteles entiende que todo lo que muta está pasando de la potencia al acto, p.e. una semilla es un árbol en potencia, y el árbol la actualización (el acto) de esa potencialidad. Estas son categorías metafísicas por lo cual podríamos hablar no sólo de una “onda de potencialidad” sino también de una “onda metafísica”.

clara definición de la cantidad matemática que, en el formalismo, debía ser interpretada como onda de probabilidad. No era una onda tridimensional como las electromagnéticas, o las elásticas, sino una onda en un espacio de configuración multidimensional, una cantidad matemática más bien abstracta, pues. Aún en esta época, el verano de 1926, no era claro en cada caso, cómo debía usarse el formalismo matemático para describir una situación experimental dada. (Heisenberg, 1959, p. 27) (subrayado propio: H.M.)

Esto es, el revestimiento matemático lleva a interpretar que la “onda” es una pura potencialidad descrita matemáticamente, una “onda abstracta” y que la “partícula” es la actualización de esa potencialidad en la medición.

¿Qué es lo que conocemos en el mundo micro?

Esta “onda abstracta” hace que Heisenberg reflexione sobre *qué* es lo que estamos conociendo en el mundo subatómico, y concluye —en palabras que ya hemos citado— que se trata de nuestros esquemas de interrogación aplicados:

En la ciencia el objeto de la investigación no es la naturaleza en sí misma, sino la naturaleza sometida a la interrogación de los hombres con lo cual, también en este dominio, el hombre se encuentra enfrentado a sí mismo [...] En la teoría de los cuantos [...] ha habido que hallar fórmulas matemáticas que expresaran no la naturaleza sino el conocimiento que de ella tenemos [...] La incidencia del método modifica su objeto y lo transforma hasta el punto de que el método no puede distinguirse del objeto. La imagen del Universo propia de la ciencia natural no es pues ya la que corresponde a una ciencia cuyo objeto es la Naturaleza. (Heisenberg, 1985, p. 22-27) (cursivas en el original)

Esta situación develada por la *física cuántica* y señalada por Heisenberg es ejemplo —desde nuestra investigación— tanto del funcionamiento de la metáfora en el mundo científico, como de la realidad de que esos esquemas trasladados desde la vida macrofísica familiar (la pelotita y la ola) presentan desafíos lógicos y paradojas en el mundo micro que no habían sido advertidos (debido a la diferencia de escala) en la física clásica. La ciencia ya no conoce una realidad “objetiva” independiente del observador (¿alguna vez lo hizo?) sino una realidad mediada por esquemas del observador interpuestos metafóricamente y que constituyen la única *realidad* que conocemos.

§. *Hay que olvidarse por un momento de la partícula*

Algunos autores entienden que “olvidándose por un momento de la partícula” asociada al electrón y metaforizándolo como una “onda de materia” la cuestión de la incertidumbre sobre el fenómeno electrón es casi evidente. Con “onda de materia” nos referimos a la onda asociada a toda partícula material en base a los postulados luego confirmados experimentalmente de Louis De Broglie (cf. *supra*: *Mecánica ondulatoria: de la metáfora de la partícula a la de la ola*). Recordemos que De Broglie preanunció basándose exclusivamente en argumentos de simetría que el electrón y toda partícula material debía tener —además del corpuscular— un comportamiento ondulatorio, de allí que asoció longitud de onda y frecuencia (características de un fenómeno ondulatorio) a toda partícula material, de allí lo de “onda de materia”. Incorporando la metáfora de la ola como descriptiva del comportamiento del electrón, el principio de incertidumbre se colige como una consecuencia de la misma metáfora.

La presentación del principio de incertidumbre desde la metaforización ondulatoria del electrón la encontramos en Halliday, Resnick & Krane (1999, p. 510) y en Hewitt:

Las incertidumbres cuánticas se originan en la naturaleza ondulatoria de la materia. Por su propia naturaleza, una onda ocupa algo de espacio y tarda cierto tiempo. No se puede comprimir en un punto en el espacio, ni limitarse a un solo instante en el tiempo, porque entonces no sería una onda. Esta “imprecisión” inherente a una onda comunica una imprecisión a las medidas en el ámbito cuántico. (Hewitt, 2007, p. 610)

No hay necesidad de hablar de un principio de incertidumbre

Si hablamos del electrón desde nuestra metáfora sustancializadora o en sentido clásico —esto es, sobre la “velocidad” y “posición” de determinado objeto— en nuestro caso electrones y fotones no podemos obviar el principio de “incertidumbre”. Richard Feynman (1918-1988) —premio Nobel de Física (1966)—²⁷ escribió en sintonía:

[...] cuando las ideas revolucionarias de la Física cuántica salieron a la luz pública, la gente tendía a considerarlas desde sus antiguas ideas, esto es la idea de partícula. Pero cuando estas ideas antiguas comenzaron a fallar, una advertencia se desarrolló: las antiguas ideas no son buenas... Si elimina todas las antiguas ideas [electrón como partícula] y hace uso de las nuevas [electrón como onda] no hay necesidad de hablar de un principio de incertidumbre (Feynman, 1988, p. 64) (aclaración entre corchetes y subrayado propios: H.M.)

Heisenberg aclara que olvidarse de las ideas antiguas es imposible porque deberíamos ser otros seres:

27. Premio Nobel de Física por su investigación de la transformación de un fotón en un electrón y en un positrón.

Los conceptos de la física clásica son simplemente un refinamiento de los términos de la vida diaria [nótese la involucración de lo metafórico en este proceso], y constituyen una parte esencial del lenguaje en que se apoya toda la ciencia natural. Nuestra situación actual, en ciencia, es tal que empleamos los conceptos clásicos para la descripción de los experimentos, y el problema de la física cuántica era el de encontrar una interpretación teórica de sus resultados sobre esta base. Es inútil discutir qué podríamos hacer si fuéramos seres distintos. A esta altura debemos comprender, como lo ha expresado Weizsäcker, que “la Naturaleza es anterior al hombre, pero el hombre es anterior a la ciencia natural”. La primera parte de la sentencia justifica a la física clásica, con su ideal de completa objetividad. La segunda, nos dice por qué no podemos escapar a la paradoja de la teoría cuántica, o sea su necesidad de usar conceptos clásicos. (Heisenberg, 1959, p. 40-41) (aclaración entre corchetes y subrayado propio: H.M.)

La física cuántica parte según Heisenberg de una inevitable paradoja —que se debe a nuestro modo de conocer y al lenguaje que expresa ese modo de conocer—: expresar lo que sucede en física cuántica en términos de la física clásica (o con las metáforas del mundo macroscópico). Esta misma frase está diciendo que eso que sucede no es algo clásico, rompe con lo clásico inaugurando algo nuevo.

XXXVI. LIBROS PARA ESTUDIANTES: LAS CARTAS SOBRE LA MESA

Llegados a este punto del recorrido, creemos conveniente acotar algo que hemos advertido respecto de los libros para estudiantes de ciencia e ingeniería. Notamos gran diferencia entre la presentación de los materiales referidos a la ciencia moderna (vistos en los capítulos 5 y 6) y la presentación de los materiales referidos a la ciencia contemporánea (que hemos visto en el presente capítulo). Pasamos a comentar tal diferencia.

§. *Ciencia moderna: confusión del mapa con el territorio*

En el Capítulo 5 referido a la obra de Newton (*Matematización de las metáforas centrales que guían a Newton y pruebas empíricas sobre su modelo matemático*) notábamos en los libros referidos, que la presentación de la Ley de gravitación universal (cf. *supra*: *La ley de gravitación en los textos de ciencia* en Capítulo 5) presentaba dos características. Por un lado, la reorganización artificial de los materiales apoyados en experimentos imaginarios —lo cual eliminaba el “contexto de descubrimiento”— y por otro, el silencio sobre la verificación empírica —descartada detrás de la racionalista confusión del mapa con el territorio—. No encontramos en tales obras, señales referidas a la actividad investigativa en el contexto que hemos denominado “de descubrimiento”, ni tampoco gráficas o datos provenientes directamente de la actividad empírica; creemos que fueron “perdidos” detrás de la reconstrucción racional.

En el Capítulo 6 correspondiente al tramo de la ciencia moderna que sucede a Newton (*La metáfora como inteligencia natural científica y su revestimiento matemático desde el s XVIII hasta la síntesis electromagnética de Maxwell*) notábamos en los libros mencionados una presentación de los materiales marcada por una reconstrucción

axiomático-deductiva con una concomitante devaluación de la contrastación empírica. La sensación resultante es que el mapa y el territorio se confunden.

Como conclusión: ¡el revestimiento matemático de la metáfora ha hecho bien su trabajo en el mundo macroscópico!

Una honrosa excepción

En el Capítulo 6 (*La metáfora como inteligencia natural científica y su revestimiento matemático desde el s XVIII hasta la síntesis electromagnética de Maxwell*) rescatamos una edición antigua (de 1977) de un conocido libro para estudiantes de ciencias e ingeniería (que actualmente se sigue utilizando) que se animaba a no confundir el mapa matemático con el territorio físico. Esta obra (en esa edición antigua y en versiones más recientes), pone en entredicho la ley de la inversa del cuadrado para la electrostática, es decir, el exponente 2 de la distancia en el caso de la ley de Coulomb (cf. *supra*: ¡Un libro que se anima a no confundir mapa con territorio! en Capítulo 6). Esta importante observación se mantuvo con una interesante variante en una edición posterior (de 1999).

Ediciones antiguas de los libros vs. ediciones posteriores

En el Capítulo 1 (*La metáfora: núcleo del conocimiento diario y científico*) rescatábamos la frase de la versión antigua (de 1977) de un conocido libro para estudiantes de ciencia e ingeniería, que se animaba a recuperar la unión entre belleza, verdad y búsqueda científica. Lamentábamos allí, que dicha vinculación haya desaparecido en versiones posteriores del “mismo” libro (de 1999) (cf. *supra*: *Economía-Simplicidad-Simetría-Belleza* en Capítulo 1). De algún modo la eliminación posterior abona el “borrado” de la distinción entre el mapa y el territorio.

§. *Ciencia contemporánea: metáforas vivas*

Aquí, en esta introducción a la operación metafórica en la ciencia contemporánea, hemos hecho referencia a varias cosas que han pasado en el laboratorio y que en los libros para estudiantes se ilustran con fotografías provenientes de los mismos experimentos a caballo entre el contexto de descubrimiento y el de validación (remitimos como ejemplo a las ilustraciones de Halliday, Resnick & Krane, 1999, p. 418 y 502; Hewitt, 2007, p. 608, Fig. N° 7, Fig. N° 8 y en general las fotografías presentes en las obras de Crowel, 2006, 2019 y 2020).

En general se trata de fotografías que pertenecen a lo relacionado con la física cuántica, es decir con la física reciente. Hoy hay una proliferación de fenómenos cuya interpretación ha dejado al descubierto —y a veces con contradicciones— la “metáfora viva” que los interpreta. Es como si la empresa de la reconstrucción racional estuviera todavía en proceso y es necesario poner “las cartas sobre la mesa” y los cabos sueltos... quizás falte perspectiva histórica y consecuente avances de las investigaciones para que esto sea parte de una reconstrucción racional más ajustada.

§. *¿Libros de texto viejos?*

El lector o la lectora habrá notado la utilización de algunos libros de texto correspondientes a ediciones que tienen más de 20 años. También habrá notado que hemos utilizado en ocasiones distintas versiones del mismo libro. La comparación nos ha llevado a atisbar que normalmente los libros más antiguos se “sinceran” y no ocultan dificultades cuidándose de asegurar que el mapa coincide con el territorio; lo hemos señalado con ocasión de la inversa del cuadrado de la distancia en la ley de la electrostática (cf. *supra*: ¡Un libro que se anima a no confundir el

mapa con el territorio! En capítulo 6); también con la afirmación de William Taussig Scott que no confunde el mapa con el territorio al hablar de los campos eléctricos: “El lector puede estimar que es real o que es un medio conveniente para el cálculo” (Taussig Scott, 1969, p. 30) habilitando la posibilidad de que los modelos no sean copias de la realidad sino un instrumento de cálculo (cf. *supra*: *Realidad y modelos matemáticos* en Capítulo 7).

Además los libros más antiguos muestran vestigios del proceso metafórico en sus expresiones lingüísticas, por ejemplo, llamar “masas” eléctricas a las cargas eléctricas (cf. Alonso & Finn, 1976, p. 458) o “masas” magnéticas a los polos del imán (cf. Maiztegui & Sábato, 1974, p. 320-321; Alonso & Finn, 1976, p. 512-513), sugiriendo el paralelismo o traslado metafórico entre la ley de gravitación y la ley de Coulomb (para la electrostática o para el magnetismo).

§. *Conclusión preliminar*

*La Ciencia es [...] tan fantástica y exigente
como los cuentos de héroes y dioses [...]
debería ser enseñada de manera tal que
se transmita [...] ese espíritu a la mente del joven.*
Max Born (citado por Maiztegui & Sábato, 1974)

En general, si consideramos a los *papers* y obras de los mismos científicos utilizadas en nuestra investigación como “fuentes” de un río, en las cuales las metáforas operan de forma explícita, los libros para estudiantes de ciencia e ingeniería van paulatinamente “río abajo” ocultando las metáforas tras una matematización y reorganización axiomático-deductiva artificial. Es por esto que las versiones que presentan señales o vestigios de las metáforas originales son normalmente las ediciones más antiguas o más cercanas a la fuente.

Hemos visto que los libros utilizados, marcan en sus introducciones un “proyecto de unidad” presentado como un “avance”, pero que no deja de ser un eslabón más de reconstrucción artificial y de ocultamiento del real proceso de la ciencia. Así, la física deja de ser una aventura “*como los cuentos de héroes y dioses*” para ser un monumento bien trabado y monolítico.

Capítulo 9

REFLEXIONES INTERDISCIPLINARIAS SOBRE LA “AMBIGÜEDAD ARTÍSTICA” INTRODUCIDA POR LAS METÁFORAS EN EL MUNDO MICROFÍSICO: NUEVO CONCEPTO DE LEYES NATURALES

La teoría atómica de la materia es una de las cosas mejor rebatidas que existen, y quizá no existe en Europa un solo sabio que sea tan ignorante como para conferirle cierta importancia.

Friedrich Nietzsche, “Más allá del bien y del mal”

XXXVII. ¿INCERTIDUMBRE O “AMBIGÜEDAD ARTÍSTICA”?

§. *Positivistas vs. defensores del libre albedrío*

Desde posturas positivistas y determinísticas suele interpretarse el Principio de Incertidumbre (visto en el capítulo anterior) como algo que le sucede al conocimiento del observador pero no a la naturaleza en sí. Es decir, la incertidumbre estaría en el conocimiento no en la realidad —así por ejemplo los físicos Erwin Schrödinger (citado por Rodríguez García & Virgós Rovira, 1999, p. 21), Gerald Holton y Stephen Brush (cf. Holton & Brush, 1993) como F. James Rutherford y Fletcher G. Watson (cf. Rutherford, Holton & Watson, 1981)—.

Posturas contrarias que pretenden salvar el libre albedrío humano reciben gustosas la posibilidad de que no todo esté determinado por leyes causales sino que exista una inmanejable incertidumbre en la entraña de la realidad —así por ejemplo: el jurista Alberto Blasetti (Blasetti, 1971) y el economista Alberto Benegas Lynch (Benegas Lynch, 2009)—.

Si nos guiamos por las escuetas citas recién referidas parecería que los físicos se inclinan por posturas positivistas y deterministas, mientras que los estudiosos provenientes de ciencias más “humanas” se inclinan por posturas sobre la incertidumbre abiertas al libre albedrío. Claramente esto no es así, citaremos —en breve— el ejemplo preclaro de Stephen Hawking.¹

1. El cosmólogo británico S. Hawking (1942-2018) es considerado uno de los científicos más prestigiosos en la actualidad. Su investigación se ha centrado en las leyes fundamentales que rigen el universo. Desarrolló la teoría de los “agujeros negros” demostrando que estos pueden emitir radiación (en un trabajo memorable en el que combinaba la relatividad general con la teoría cuántica). Por sus investigaciones ha recibido doce doctorados *honoris causa* y además de su obra académica

§. Incertidumbre: ¿un problema de los instrumentos de medida?

Notemos que parte de las interpretaciones de los dichos de Schrödinger (cf. Rodríguez García & Virgós Rovira, 1999, p. 21) en el capítulo anterior (cf. *supra*: *Mecánica ondulatoria: de la metáfora de la partícula a la de la ola* en el Capítulo 8) entienden que en el ámbito microscópico la manifestación bajo la forma de la onda o bien bajo la de la partícula depende del instrumento pero no del objeto físico bajo observación. Comenta Castellà Cid:

Schrödinger [...] en su ensayo titulado ¿Qué es una partícula elemental? publicado en 1952 [...] defiende que con la mecánica cuántica la noción de partícula elemental ha perdido las características esenciales que tenía en la física anterior, puesto que en la nueva concepción la partícula “carece de identidad”, es decir, ya no es un individuo que se le pueda identificar como tal [...] Si en ocasiones se percibía la naturaleza de onda y en ocasiones se percibía la naturaleza de partícula de un mismo objeto, ello no era debido al objeto sino al aparato experimental con el que se lo observaba.² (Castellà Cid, s/f, p. 259) (subrayado propio: H.M.)

Según esta cita, el problema de la indeterminación es generado por los instrumentos, en la realidad no la habría. Esta formulación es más bien un prejuicio que algo científicamente probado. Como

ha escrito varias obras de divulgación como *El universo en una cáscara de nuez*, *Historia del tiempo*, *La naturaleza del espacio y el tiempo* (junto con Roger Penrose).

2. La autora pone unos ejemplos: “Así, por ejemplo, un haz de rayos catódicos en una cámara de Wilson producía líneas rectas, aisladas, de gotitas de agua [...] Interpretamos dichas líneas como huellas del recorrido de electrones individuales. Sin embargo, si el mismo conjunto de rayos catódicos atravesaba un tubo que contenía polvo de cristal entonces producía en una placa fotográfica un diseño de círculos concéntricos, que interpretamos como muestras de la interferencia de ondas” (Castellà Cid, s/f, p. 259).

al problema —según esta postura— lo introduce la medición, se lo conoce como *problema de la medición*.

Heisenberg se refiere al problema de la medición en los siguientes términos:

Lo cierto es que cuando queremos formarnos una imagen del modo de ser de las partículas elementales, nos hallamos ante la fundamental imposibilidad de hacer abstracción de los procesos físicos mediante los cuales ganamos acceso a la observación de aquellas partículas. (Heisenberg, 1985, p. 15)

Esto es, en el mundo microscópico los instrumentos de medida alteran la medición de un modo tal que la perturban totalmente, cosa que no sucede en el mundo macroscópico, donde el proceso de medición es secundario respecto del fenómeno observado:

Cuando observamos objetos de nuestra experiencia ordinaria, el proceso físico que facilita la observación desempeña un papel secundario. Cuando se trata de los componentes mínimos de la materia, en cambio, aquel proceso de observación representa un trastorno considerable, hasta el punto de que no puede ya hablarse del comportamiento de la partícula prescindiendo del proceso de observación. (Heisenberg, 1985, p. 15)

Veremos que Heisenberg no se queda centrando todo el problema en los instrumentos de medida (como adelantamos en *supra*: *No hay hechos sino interpretaciones metafóricas* en el Capítulo 1) sino en los esquemas del observador como veremos en breve (cf. *infra*: *¿La incertidumbre se debe a los esquemas del observador?*).

Nuevo concepto de leyes naturales

La consecuencia de esta nueva situación en la observación de la naturaleza, lleva a Heisenberg (1985) a redefinir el tipo de leyes con las que tiene que contentarse la teoría cuántica: “Resulta de ello, en definitiva, que las leyes naturales que se formulan matemáticamente en la teoría cuántica no se refieren ya a las partículas elementales en sí, sino a nuestro conocimiento de dichas partículas” (p. 15). Por lo tanto ya no se puede hablar del conocimiento de la naturaleza o de las partículas “en sí” sino del comportamiento que asumen durante la interacción con el sistema de medida que el observador impone:

La cuestión de si las partículas existen “en sí” en el espacio y en el tiempo, no puede ya plantearse en esta forma, puesto que en todo caso no podemos hablar más que de los procesos que tienen lugar cuando la interacción entre la partícula y algún otro sistema físico, por ejemplo los aparatos de medición, revela el comportamiento de la partícula. (Heisenberg, 1985, p. 15)

Lo que hace dramática la situación es que el comportamiento de fenómenos subatómicos como es el caso del electrón, arroja —según como se mida— que el electrón o es una partícula (una pelotita) o bien es una onda (un oleaje). Es decir, cuando se quiere conocer con precisión la ubicación de una partícula —por ejemplo, de un electrón— se produce una gran indeterminación en su velocidad y cuando se quiere determinar con precisión la velocidad se produce una gran indeterminación en su posición (cf. *supra*: Figura N° 33 en *El principio de incertidumbre entraña dos metáforas* en Capítulo 8).

§. *¿La incertidumbre está en el método o la ignorancia del observador?*

En la cita de Schödinger que hemos ya referido respecto de la incertidumbre: “Qué aspecto sobresalga [onda o partícula] depende no

del objeto físico sino del instrumento experimental usado para examinarlo” (Schrödinger, 1957, citado por Rodríguez García & Virgós Rovira, 1999, p. 21; aclaración entre corchetes propia: H.M.) (cf. *supra*: *Mecánica ondulatoria: de la metáfora de la partícula a la de la ola* en el Capítulo 8) se pone de manifiesto la perturbación introducida por el “punto de vista del observador”. Ya que este ofrece distintos escenarios experimentales a las mismas “partículas” subatómicas, las cuales se comportan en unos casos como partículas y en otros como ondas, pero ello es un problema de la medición o del observador o del escenario preparado pero no de las partículas. Esto lleva a pensar que —de algún modo— se *crea* la situación observada. ¿El problema es del observador?

Si el problema está en la observación, la realidad no sería contradictoria, sino que habría que esperar a obtener nuevos conocimientos, develar variables actualmente ocultas para nosotros y realizar nuevos experimentos. Así lo espera el mismo Louis De Broglie:

[...] a menudo bajo la influencia de ideas preconcebidas [...] algunos] han pensado que podían ir más lejos y afirmar que el carácter incierto e incompleto del conocimiento que, sobre lo que sucede realmente en microfísica, nos proporciona la experimentación en su actual fase de desarrollo, es el resultado de una genuina indeterminación de los estados físicos y de su evolución. Semejante extrapolación no parece estar justificada en modo alguno. Es posible que, escrutando el futuro hasta un nivel más profundo de la realidad física, podamos interpretar las leyes de probabilidades y la física del *quantum* como los resultados estadísticos del desarrollo de valores completamente determinados de variables que actualmente permanecen ocultas para nosotros. Puede que los poderosos medios que empezamos a utilizar para romper la estructura del núcleo y hacer aparecer nuevas partículas, nos proporcionen algún día el conocimiento

directo que hoy no poseemos de este nivel más profundo³ (De Broglie citado por Benegas Lynch, 2009, p. 10) (subrayado y aclaración entre corchetes propias: H.M.)

Desde una perspectiva dominadora se sigue pensando que la realidad está “escrita en caracteres lógico matemáticos” y que la ciencia terminará eliminando toda ambigüedad y ficción metafórica. Tal perspectiva puede interpretarse en los dichos de Bohr que introduce “variables ocultas” que de ser conocidas nos conducirían a una determinación precisa de la posición y velocidad del electrón (que sólo es “partícula”) y de cualquier partícula subatómica:

“No necesitamos abandonar la descripción precisa, racional y objetiva de los sistemas individuales en el reino de la teoría cuántica.” [cita de Bohr referida por Heisenberg] [...] Bohr expresa, en realidad, la esperanza de que en futuros experimentos en el campo de las partículas elementales, los parámetros ocultos puedan tener todavía una participación física, y que pueda así probarse la falsedad de la teoría cuántica. (Heisenberg, 1959, p. 109) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

§. Interpretación desde el materialismo dialéctico

Otra interpretación que también se niega a admitir la introducción metafórica ineliminable⁴ del observador en la interpretación de la teoría cuántica, es realizada desde la filosofía del materialismo

3. Prefacio a Bohr, N. (1951). *Casuality and Chance in Modern Physics*. New York: Putnam.

4. Para nosotros, lo volvemos a marcar, esta interpretación metafórica es parte de la hermenéutica ontológica, por eso decíamos que el plus de realidad introducido por la metáfora no es sólo una innovación semántica sino también creadora de realidad, es decir ontológica.

dialéctico,⁵ esto es, *la naturaleza se rige por el materialismo dialéctico* (lo cual es un principio metafísico). Heisenberg se refiere a la presencia de esta perspectiva en el trabajo de Blochinzev y Alexandrov que critican la llamada interpretación de Copenhague⁶ de la teoría cuántica:

Desde el comienzo, estos autores limitan expresamente sus objeciones contra la interpretación de Copenhague al aspecto filosófico de la cuestión. Lo físico de esta interpretación es aceptado sin reservas [...] escribe Blochinzev: ‘Entre las diferentes tendencias idealistas de la física contemporánea, la llamada escuela de Copenhague es la más reaccionaria. El presente informe está dedicado a desenmascarar las especulaciones idealistas y agnósticas de esta escuela sobre los problemas básicos de la física cuántica’. La acritud de la polémica muestra que aquí

5. Postura de A. V. Fock en su obra “El ‘idealismo burgués’ en la física nuclear soviética”, citado por Gardner (1988, p. 39-56). Respecto del “Materialismo dialéctico”, tomamos la definición del diccionario: “Versión marxista de la dialéctica idealista hegeliana, interpretada como económica y basada en la relación de producción y trabajo” (DRAE).

6. La interpretación de Copenhague es la interpretación ortodoxa de los fenómenos cuánticos: “La interpretación ortodoxa o interpretación de Copenhague es la más ampliamente difundida y es la base de la exposición de la teoría en los cursos de grado. Intentar describir esta interpretación con precisión es difícil ya que sus proponentes (Bohr, Heisenberg, Von Newman, Born,...) no tienen una postura común con respecto a todos los temas relacionados con la teoría, sumándose a esto que sus posiciones respecto a la interpretación, se modificaron a lo largo de sus vidas.” (Valladares & Sanz Ferramola, 2011, p. 30). Podemos sumar para orientar al lector o lectora, que esta interpretación ortodoxa incorpora el Principio de Incertidumbre de W. Heisenberg (cf. *supra*: Principio de Incertidumbre de Heisenberg en Capítulo 8), el Principio de Complementariedad de N. Bohr (cf. *supra*: Principio de complementariedad en Capítulo 8) y la Ecuación de Schrödinger de E. Schrödinger (cf. *supra*: Mecánica ondulatoria: de la metáfora de la partícula a la de la ola en Capítulo 8) interpretada como “onda de probabilidad” (probabilidad de encontrar a la partícula en determinada región del espacio).

no sólo tenemos que vérnosla con la ciencia sino también con una declaración de fe, con la adhesión a determinado credo [...] la tarea consiste en conservar la ontología materialista, el ataque se dirige principalmente a la introducción del observador en la interpretación de la teoría cuántica. (Heisenberg, 1959, p. 112-113) (Subrayado propio: H.M.)

§. *¿La incertidumbre está en la realidad misma?*

Si el problema es de la realidad observada, el electrón y toda partícula subatómica tiene un comportamiento contradictorio: continuo/no-continuo u onda/partícula u *oleaje/pelotita*. Es decir la “realidad observada”⁷ viola el principio lógico tradicional de *tercio excluso*.⁸ Para suavizar el impacto de tal aseveración los físicos cuánticos adoptaron en Copenhague una interpretación que dice que las dos imágenes sobre las partículas microscópicas o las ondas asociadas son verdaderas pero no contradictorias sino complementarias, y esto es inherente a la naturaleza (cf. *supra*: Principio de complementariedad en Capítulo 8).

Escuchemos al reconocido cosmólogo Stephen W. Hawking: “Con la llegada de la mecánica cuántica hemos entendido que los sucesos no pueden predecirse con completa exactitud sino que siempre hay un grado de incertidumbre” (Hawking, 2008, p. 135), notemos que Hawking habla de predicciones sin hacer referencia a ningún instrumento de medida. Prosigue: “Si quisiéramos podríamos

7. “El observador modifica lo observado: no sabe si lo que acontece en el experimento es una escena real, una creación de su mente o una fantasía de los refinados instrumentos” (Massuh, 1990, p. 165-166), recordemos aquí la cita de Heisenberg referida en *supra* Capítulo 1, en la que afirma entre otras cosas significativas que “la incidencia del método modifica su objeto y lo transforma hasta el punto de que el método no puede distinguirse del objeto” (Heisenberg, 1985, p. 27).

8. Surgen lógicas dialécticas, es decir, lógicas de *tercio incluso* como la de Lupasco. Lupasco expresa su principio de “complementariedad contradictoria” en términos de actualización y potencialización de contradictorios (cf. Montesinos, 2003).

atribuir esta aleatoriedad a la intervención divina. Pero sería un tipo de intervención muy extraño” (p. 135). Advirtamos que para que no nos queden dudas, podríamos atribuir la incertidumbre al creador de la naturaleza⁹. Hawking redefine el objetivo de la ciencia: “Nuestro objetivo es formular un conjunto de leyes que nos permitan predecir sucesos hasta el límite impuesto por el principio de incertidumbre” (p. 135), para hallar una compo-
nenda entre el determinismo y el principio de incertidumbre que habilita el libre albedrío:

El estado del universo y sus contenidos, como nosotros mismos, están completamente determinados por las leyes de la física, hasta el límite establecido [no por los instrumentos de medida] por el principio de incertidumbre ¡Para que luego hablen del libre albedrío! (Hawking, 2008, p. 82-83) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Así, algunos achacan la indeterminación en primer lugar al método de medida, en segundo lugar algunos piensan que el problema es el conocimiento incompleto del observador, otros entienden que la indeterminación pertenece a la realidad misma.

Pero hay una cuarta postura (o un matiz de la primera), el problema no estaría en ninguno de los polos método de observación-realidad, sino en los esquemas mentales del sujeto, es lo que veremos a continuación.

9. Lo cual sería un argumento para poder digerir teológicamente la incertidumbre si se considera a dios como un matemático al estilo de la concepción que de Él tienen Newton y Galileo (cf. *supra*: *Metáfora del constructor de máquinas* en Capítulo 3, cf. *supra*: *Resultado: perfección geométrica en el cielo* en Capítulo 4, cf. *infra*: *La metáfora del artesano divino* en Capítulo 11, cf. *infra*: *Génesis del dios ingeniero* y *Metáfora de la emanación en Newton: espacio euclidiano absoluto homogéneo* en Capítulo 12).

§. *¿La incertidumbre se debe a los esquemas del observador?*

Entendemos que la incertidumbre se debe a la naturaleza del conocimiento y de la inteligencia natural que en nuestro estudio estamos reconstruyendo. Tal conocimiento se basa en un proceso abductivo, que tiene en la metáfora su núcleo (pues obtiene la REGLA para que la abducción funcione) y que hace pie en una cantera de analogías integrada por esquemas que han funcionado y tenido éxito en el mundo macroscópico de la vida diaria.

Heisenberg —uno de los padres de la física cuántica, junto con Bohr, De Broglie y Schödinger— no pone el problema *sólo* en la realidad observada, ni tampoco *sólo* en el método de medición u observación sino en la interacción observador-realidad que lleva a realizar una ingeniosa *construcción matemática interpósita*, él habla de un conocimiento no de la realidad “en sí” sino de nuestros propios esquemas que buscan inteligencia (cf. cita de Heisenberg, 1985, p. 22-27, en *supra*: *No hay hechos sino interpretaciones metafóricas* en el Capítulo 1).

Conocimiento de nuestras ambiguas metáforas

En palabras de nuestra investigación decimos que el conocimiento es de nuestras metáforas que buscan inteligencia, que no son puramente subjetivas sino que poseen una naturaleza híbrida en cuanto que dependen tanto de la creatividad del sujeto (entendido como el horizonte de la vida operante, cf. *supra*: *Horizontes del mundo y de la vida operante* en el Capítulo 2) como del objeto (entendido como el horizonte del mundo) que ofrece saliencias que son enfocadas o sintonizadas por el sujeto desde una cantera de analogías (esto es, el objeto no es algo puramente amorfo, cf. *supra*: *La ficción de los puntos de partida de la “lectura” sin metáforas*, en Capítulo 3, Esquemas N° 10, N° 11 y N° 12). Tales metáforas son matematizadas o revestidas matemáticamente, pero no dejan de ser “algo interpósito”, para

nuestra investigación ineliminable por ser la metáfora el *núcleo del conocimiento* como vimos en el Capítulo 1.

Nueva definición de Ciencia

La incidencia drástica del método y de los esquemas implicados del observador sobre la observación lleva a Heisenberg, a admitir que “la incidencia del método modifica su objeto y lo transforma hasta el punto de que el método no puede distinguirse del objeto” (Heisenberg, 1985, p. 27), y a concluir: *La imagen del Universo propia de la ciencia natural no es pues ya la que corresponde a una ciencia cuyo objeto es la Naturaleza* (p. 27, cursivas en el original).

Interpretación desde la mimesis I, II y III

Esta nueva definición de ciencia ajustada al ámbito microscópico se debe a que en el objeto se encuentra *reflejado* el sujeto. Heisenberg dice a lo largo de su profunda reflexión (cf. Heisenberg, 1985) que contemporáneamente el hombre se encuentra enfrentado a sí mismo en la observación o interrogación de la naturaleza.

Esto es, el sujeto queda de algún modo “plasmado” en el objeto a través de su *eiségesis* o “preconcepción” —o *mimesis I* (cf. *supra*: *Triple mimesis ricœuriana* en Capítulo 2)—, a través de sus búsquedas que anhelan simetrías, simplicidades, economías (cf. *supra*: *La predicción estética de lo verdadero* en Capítulo 8), lo cual lo lleva a un modo de interrogar o método. Esta “preconcepción” genera una “configuración” del objeto —o *mimesis II*—. Finalmente el observador aprende algo más sobre “su” mundo y sobre sí mismo, no queda igual que al principio, hay una “refiguración” —o *mimesis III*—. Así lo conocido no es “la naturaleza en sí” sino ésta “sometida a la interrogación de los hombres” (Heisenberg, 1985, p. 23) y en tal interrogación se levantan las metáforas para tratar de conocer desde lo familiar.

Conocemos sólo el aspecto humano de las cosas

Vuelven a resonar las palabras de Peirce en carta a Lady Welby ya recordadas (en *supra*: *Axiomatización con devaluación de la contras-tación empírica* en Capítulo 6): “[...] es totalmente cierto que nunca podremos alcanzar un conocimiento de las cosas tal como son. Podemos conocer sólo su aspecto humano. Pero ese es todo el uni-verso que existe para nosotros” (Peirce citado por Nubiola, 2001, p. 191; también en Nubiola, 2002, párr. 7).

En los experimentos mencionados “de la doble ranura” que se han realizado con luz monocromática y con electrones, el diseño de los mismos está suponiendo probables comportamientos en base a lo que se supone que esas entidades (luz o electrones) pueden llegar a ser. La interrogación —lógicamente— no es sin presupuestos, no es sin una “teoría” previa y en el caso de “fotones” (partículas de luz) o “electrones”, se está tratando con entidades de las cuales —por sus dimensiones microscópicas— no se tiene experiencia directa, y las “teorías” o “hipótesis” serán esquematizaciones traídas de la vida macroscópica de quien interroga.

XXXVIII. LA METÁFORA DE LA FUSIÓN: CONSECUENCIAS

Lo analizado en este capítulo y coronado por las reflexiones de Heisenberg (1985) en torno a las paradojas de la dualidad onda-partículas, nos lleva —usando una metáfora— a hablar de cierta “fusión” del sujeto con el objeto a través de un proceso de interpretación metafórico. La idea de “fusión” es una metáfora tomada de la metalurgia; en el caso de los metales la fusión supone fundir o derretir metales diferentes para lograr una aleación que contiene a los metales fundidos, pero ahora en una integración con propiedades nuevas (la aleación es una “mezcla” sólida pero tan profunda que el resultado no se parece a los constituyentes: así el bronce es la mezcla sólida de cobre y estaño).

Esta fusión en ciencia ha quedado reflejada en lo que hemos notado respecto de los resultados esperados por el sujeto o “problema de la medición” en torno al fenómeno electrón. Al considerar al fenómeno desde la metáfora sustancializadora del corpúsculo se obtiene un comportamiento corpuscular, al considerarlo desde la metáfora de la onda se obtiene un comportamiento ondulatorio. Se nota en lo dicho el proceso metafórico de base que va constituyendo al objeto y al sujeto racional.¹⁰ En el conocimiento científico se da también entonces cierta fusión a través del método utilizado: lo que la interioridad del sujeto espera, eso le ofrece el objeto como resultado.

10. Aparece un paralelo con la interpretación de la obra de arte: en este caso de la obra de arte, parece que es ella la que propone al espectador cierta invitación a la fusión (de tal modo que en el interior del espectador surge una novedad, algo que se experimenta como verdadero); en el caso de la física es el científico quien “propone” (con su teoría y su método) a la naturaleza un probable modo de comportamiento y ésta quien “responde” con cierta fusión (cf. la frase referida de Heisenberg, 1985, p. 15-16).

Por un lado, esta fusión que acontece en el conocimiento lleva a cierta renuncia a la actitud dominadora o de imposición, ya que se manifiesta una traza de inmanejable autonomía de lo real: la ciencia debe recurrir a metáforas contradictorias que la interpretación de Copenhague ha vuelto complementarias.

Por otro lado, esta misma fusión es un llamado al necesario compromiso en el aporte de la imaginativa metáfora por parte del investigador. No hay fusión (tampoco conocimiento) sin este compromiso metafórico.

El tema epistemológico del conocimiento como fusión, donde cada una de las entidades que se fusionan no quedan igual que antes de la misma, plantea la conveniencia de no trabajar con la terna: *sujeto-objeto*¹¹-*relación* de conocimiento; sino —siguiendo a Husserl¹²— con la terna: *horizonte de la vida operante-horizonte del mundo-transacción* cognoscitiva. Como en toda transacción, hay un “intercambio” que se materializa en la zona de fusión como una operación metafórica: el “sujeto” deja *algo de sí* en el objeto y éste *algo de sí* en el sujeto, por lo que luego de la transacción, ni sujeto ni objeto son los mismos.

11. Tradicionalmente se entendió el conocimiento como una relación entre un sujeto y un objeto dados de antemano. Si el sujeto “giraba” en torno al objeto, se hablaba de *realismo* gnoseológico —el objeto determinaba al sujeto—; si por el contrario el objeto “giraba” en torno al sujeto, se hablaba de *idealismo* gnoseológico —el sujeto determinaba el objeto—. En un caso el objeto no cambia, en el otro es el sujeto el que no cambia. Una tercera posibilidad —más verosímil o real según lo que venimos analizando— es el conocimiento como resultado de una dialéctica donde se produce —justamente— un diálogo mutuamente enriquecedor que no deja igual a los dialogantes. Debido al carácter inacabado de sujeto y objeto se propone reemplazarlos por los horizontes: de la vida operante y del mundo, respectivamente.

12. Como hemos visto (cf. *supra*: *Apostilla 2: conocer es olvidar detalles y cartografiar* en Capítulo 2) y es pertinente recordar, el “último Husserl” (Ricœur, 1975, p. 13) habla del “mundo de la vida”, es decir, un estrato de la experiencia anterior a la relación Sujeto-Objeto; en vez de un *cogito* enfrentado al mundo hay un ser vivo que tiene como horizonte de todas sus intenciones al mundo. Antes de la objetividad existe “el horizonte del mundo”, antes del sujeto existe “la vida operante”.

XXXIX. ASPECTO EDUCATIVO DE LA FUSIÓN

§. *Invitación al diálogo y creatividad en educación*

La fusión que constituye el conocimiento puede ser vista como el resultado del diálogo no impositivo: ni la realidad se impone, ni el investigador se impone, la fusión es un mutuo acuerdo que no deja igual ni a la realidad ni al investigador.

Esto puede ser trasladado a las relaciones interpersonales. Muchas veces la actitud de dominio o de poca apertura lleva a tener “fotografías estáticas” de las personas o visiones “reductivas” de sus actitudes y puntos de vista. Para escapar de esta trampa, es necesario realizar la *experiencia del otro* sin encasillarlo ni absolutizar el propio punto de vista. En otras palabras es necesaria una *apertura* que permita descubrir riquezas no advertidas¹³ produciendo la fusión, un acuerdo que amplíe los horizontes de conocimiento y sensibilidad de cada uno.

La actitud no dominadora y de respeto se relaciona en el plano educativo con la formación con sentido ético,¹⁴ que no impone puntos de vista y trata de comprender “desde el otro”.

Para el educador es un llamado a no imponer los conocimientos (¿cómo podría hacerlo si todo conocimiento es mediado por esquemas de una cantera de analogías?) y a habilitar las propias metáforas inteligibilizadoras de los alumnos.

13. Es pertinente decir que estas riquezas no advertidas pueden ser propias, no solamente ajenas, ya que durante el diálogo pueden despertarse en *nuestro* interior revelaciones o inspiraciones de gran fecundidad. Es un fenómeno que suele darse durante la escritura, en esa especie de diálogo con uno mismo, con sus textos interiores.

14. Esta formación con sentido ético en el sentido que le hemos dado con la metáfora de la fusión es lo que Gadamer llama *Bildung*.

XL. MÁS ALLÁ DE LA DUALIDAD ONDA-PARTÍCULA EN EL SXXI

§. *La teoría cuántica del campo*

...creo que puedo decir con toda tranquilidad
que nadie entiende la mecánica cuántica.
Richard Feynman, “El carácter de la ley física”

Volviendo a la fructífera metáfora de *las fibras elásticas* de Faraday (ya citadas por nosotros desde el Capítulo 1) con las que se describe al *campo* magnético o eléctrico y teniendo en mente lo que hemos dicho sobre la física cuántica (desde el Capítulo 8) podemos lícitamente preguntar: ¿Qué tienen que ver esas fibras elásticas (o líneas de fuerza o de campo) de Faraday con las nuevas ideas de la física cuántica? En otras palabras: ¿Cómo podemos comprender las atracciones y repulsiones entre cargas que gráficamente nos mostró la metáfora de las fibras elásticas? Podemos invitar también a Maxwell y a su *metáfora hídrica* y a las consecuencias que esta metáfora tuvo: la gran síntesis de sus 4 ecuaciones sobre el campo electro-magnético (cf. *supra*: Capítulo 6) ¿cómo pensar el *campo* electromagnético desde los avances de la física cuántica?

Porque —en otras palabras— la idea de *campo* nos remite a algo “continuo” que *rodea* a las cargas mientras que la física *cuántica* pone su acento en *cuantos* “discretos” o “paquetes” de energía como el *fotón* al que se considera un *paquetito*, *pelotita* o *corpúsculo*, o pedacito de campo. Desde la última concepción, pierde el campo —como “zona” que rodea a las cargas— su característica de extensión y continuidad (como se observa, aparece de nuevo la dualidad entre un fenómeno concentrado y otro distribuido).

Observemos que la denominación “teoría *cuántica del campo*” incluye aspectos que parecen contradictorios... pero da un paso hacia una teoría que ata cabos sueltos, resuelve inconsistencias (aunque genera otras) y reúne fenómenos que teorías (o metáforas) anteriores pensaban de modo independiente sin poder entrelazarlas.

El modelo estándar

Recordemos que en un principio se pensó que la luz se comportaba de manera parecida a un chorro de partículas (metáfora de Newton). Las investigaciones posteriores dejaron claro que esto no era del todo cierto, puesto que la luz mostraba también un comportamiento similar al movimiento de olas de agua (metáfora de Huygens). Más tarde, ya en el siglo XX, se rehabilitó la idea de que, en muchos aspectos, la luz se comportaba como un chorro de partículas que hoy llamamos fotones. Por otro lado cuando se descubrieron los electrones parecían comportarse como partículas o pelotitas, pero los experimentos de difracción de electrones y de la doble ranura, mostraron que también se comportaban como olas de agua, como hemos visto:

A medida que pasaba el tiempo iba creciendo la confusión en torno al comportamiento de todas estas cosas: que si partículas, que si ondas... Todo parecía indicar que se comportaban de las dos maneras. Esta creciente confusión fue resuelta hacia 1925 o 1926 con la formulación de las ecuaciones correctas de la mecánica cuántica. Ahora sí sabemos cómo se comportan los electrones y la luz [según el modelo estándar]. El problema es cómo describirlo. Si digo que se comportan como partículas estaré dando una falsa impresión; tan falsa como si digo que se comportan como ondas. Lo cierto es que se comportan a su propia e inimitable manera, que técnicamente podríamos llamar mecanocuántica (Feynman, 2015, Capítulo 6, aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Como nos advertía Richard Feynman (citado en *supra* Capítulo 8) las incertidumbres (o como lo llamamos “ambigüedad artística”) en el mundo *micro*, provienen de pensar con ideas tomadas del mundo *macro*: “las antiguas ideas [metáforas de la vida cotidiana] no son buenas... Si elimina todas las antiguas ideas [electrón como “pelotita”] y hace uso de las nuevas [electrón como “ola”] no hay necesidad de hablar de un principio de incertidumbre (Feynman, 1988, p. 64, aclaración entre corchetes propia: H.M.). A nivel micro las metáforas provenientes de la vida diaria nos confunden. Hablándoles a un grupo de estudiantes Feynman dice respecto de las “partículas” cuánticas: “Su comportamiento no se parece a ninguna otra cosa que ustedes hayan visto antes. Nuestra experiencia de los hechos cotidianos es incompleta [... el mundo micro] no se comporta como nada que hayamos conocido antes” (Feynman, 2015, Capítulo 6, aclaración entre corchetes propia: H.M.).

Muerte metafórica: la chifladura del electrón y del fotón

Feynman no encuentra otro modo de expresar lo que sucede en el mundo micro más que como chifladura, lo cual presenta una sola ventaja, esta chifladura es común a las entidades de este mundo: “Sin embargo, existe al menos una simplificación. Los electrones se comportan en este aspecto justo igual que los fotones; ambos están chiflados, pero de la misma manera” (Feynman, 2015, Capítulo 6). Y reitera que no hay que preguntar con la “cordura” de nuestro mundo:

Hace falta mucha imaginación para hacerse una idea de su comportamiento, puesto que se trata de describir algo completamente distinto de cualquier otra cosa conocida [...] No voy a recurrir a la analogía; simplemente voy a describir lo que pasa [...] Si pueden evitarlo, no insistan en preguntarse: “¿Cómo es posible?”, porque se meterán en un callejón del

que nadie ha conseguido salir todavía. Nadie sabe cómo es posible. (Feynman, 2015, Capítulo 6, aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Aunque la metáfora parece descartada ¿podría la ciencia haber llegado a esta *chifladura* sin ellas?

Feynman explica (y con ello ganó el premio Nobel) que la atracción o repulsión entre partículas cargadas se produce (no ya por la tensión de fibras elásticas) sino por intercambiar fotones. La explicación matemática no es “moco de pavo”.

Resurgimiento metafórico: los electrones patinadores

Si bien Feynman se resiste (con mucha razón) a proponer “metáforas” o imágenes de la vida cotidiana, las mismas siempre “resurgen” intentando de algún modo lograr una imagen plausible (venimos proponiendo que nuestra inteligencia natural recurre siempre a ellas).

Supongamos: si yo soy un electrón “calzado” con patines de hielo sobre una pista de hielo y le arrojo a otro electrón un “paquete” (que representaría al “fotón virtual” en la teoría estándar) la maniobra efectuada me empujará para atrás (por la conservación del momento lineal), a su vez, el electrón que recibe el paquete que yo le arrojé, será empujado por este paquete en el sentido que el paquete trae, alejándolo de mí... El resultado es que los electrones al intercambiar fotones se “repelen”:

Un campo electromagnético está formado por un enjambre de fotones; la interacción entre dos partículas cargadas surge en realidad del hecho de que dichas partículas se “disparan” fotones entre ellas mismas, lanzándolos y devolviéndolos. En una analogía aproximada al modo en que puede usted perturbar el movimiento de alguien que patina sobre hielo con

usted, y el de usted mismo, lanzándole una andanada de bolas de jugar a los bolos, también dos partículas cargadas eléctricamente ejercen influencia la una en la otra intercambiando esos pequeños paquetes de luz (Green, 2006, “Partículas mensajeras” en Capítulo 5)

Un fallo importante de esta metáfora del patinaje sobre hielo es que el intercambio de paquetes siempre es de repulsión pues aleja a los patinadores uno del otro ¿qué pasa en el caso de la atracción? Viene en ayuda de la imaginación una variación en el objeto arrojado: ¿qué pasa si el paquete (fotón virtual) tiene forma de bumerang¹⁵? Imaginemos que tenemos un electrón (carga negativa) y un protón (carga positiva) “dándose la espalda mutuamente”. Si el electrón lanza el paquete bumerang por adelante suyo, debido a su forma aerodinámica su trayectoria recorrerá un “bucle” (pasando por encima de los patinadores) siendo recibido o atrapado por el protón por adelante suyo. Notemos que el electrón al arrojar el “paquete-bumerang” se va “para atrás” acercándose al protón mientras que el protón al recibir el bumerang también es empujado “hacia atrás” acercándose al electrón (como las partículas se dan la espalda entre sí, el resultado de la interacción es que se acercarán mutuamente = atracción).

§. *Brevísima alusión a la teoría de cuerdas*

La teoría de cuerdas es una de las últimas que está siendo desarrollada, en pos de acercarse a una teoría más abarcativa,¹⁶ ella interpreta metafóricamente a las “partículas” (electrones, fotones,

15. La teoría físico matemática dice que lo que varía en un caso (paquete) y el otro (bumerang) es el “momento del fotón virtual”.

16. Que aune en una única teoría a la teoría cuántica (=modelo estándar) con la teoría de la relatividad general de Einstein. Esto es lo que procuran las llamadas “Teorías del Todo” (cf. Barrow, 1991; Hawking, 2008).

etc.) como pequeñas cuerdas (diminutas “soguitas” unidimensionales¹⁷). Como las notas musicales están caracterizadas por una frecuencia de vibración de una cuerda tensada entre dos extremos (onda estacionaria) cada partícula sería una determinada vibración que le daría físicamente sus propiedades. Esto es: las masas y las cargas de las partículas en la teoría de cuerdas están determinadas por los posibles modos de vibración de las cuerdas.

En un universo que tenga tres dimensiones espaciales, una cuerda puede vibrar en tres direcciones independientes, esto da una “pobreza” en el número y variedad de partículas. Pero ¿si el universo tuviese más dimensiones “pequeñas y ocultas” (en tanto no las experimentamos)? En este caso obtendríamos más direcciones independientes en las que una cuerda puede vibrar y más partículas específicas considerar. Para que la teoría que representa a las partículas como vibraciones particulares de pequeñas cuerdas sea coherente, el universo tendría que tener diez dimensiones espaciales y una dimensión temporal, con un total de once dimensiones.

Como sólo experimentamos tres dimensiones espaciales y una temporal, las restantes dimensiones “invisibles” se dicen que están “enrolladas” (por contraste con las tres que están “extendidas”).

Debido a que los modelos de vibración de las cuerdas se nos manifiestan como masas y cargas de partículas elementales, llegamos a la conclusión de que estas propiedades fundamentales del universo están determinadas en gran medida por el tamaño y la forma geométrica de las dimensiones adicionales. Ésta es una de las ideas de mayor alcance de la teoría de cuerdas. (Green, 2006, “Las implicaciones físicas de las dimensiones adicionales” en Capítulo 8)

17. ¿Qué tan pequeñas? De un (muy sugerente) tamaño de orden de magnitud de la constante de Planck que hemos mencionado (constante relacionada con el Principio de Incertidumbre de Heisenberg como hemos visto).

Baste lo dicho para observar como en el deseo de armonía, de simplicidad (en tanto se busca una única teoría que lo explique todo), matemática y metáfora se imbrican en la lectura o predicción de la realidad.

Capítulo 10

EL VACÍO HERMENÉUTICO PRODUCIDO POR LOS HECHOS PROBLEMÁTICOS A LOS QUE SE ENFRENTA LA CIENCIA Y SU CUBRIMIENTO EXITOSO POR LA INTELIGENCIA APORTADA POR LA METÁFORA

Las únicas leyes de la materia son las que fabrican nuestras mentes, y las únicas leyes de la mente son fabricadas —para ella— por la materia.

James Clerk Maxwell, “Analogies. Are there Real Analogies in Nature?”*

* Escritos ensayísticos de Maxwell de Febrero de 1856. Cita en Campbell & Garnett, 1882, p. 244 (traducción propia: H.M.).

XLI. TESTIMONIOS RELATIVOS AL “VACÍO HERMENÉUTICO”

§. *Un pensamiento sin palabras de difícil traducción a lo científico*

Hemos hablado de una falta de acople pictórico entre el lenguaje y la realidad (cf. *supra*: *El positivismo descascarado* en el Capítulo 1)¹ que lleva a “inaugurar” una primera etapa de “contexto de descubrimiento”. Esta

1. Hemos tratado sobre los intentos en ciencia dura de eliminación del misterio o —en otras palabras— de esa especie de “vacío” que pide el “llenado” de la explicación y hemos encontrado que tal tarea no se realiza sin un rodeo por la metáfora (cf. *supra*: capítulos 1 al 9). Este rodeo implica una participación activa del sujeto que lejos de reflejar los objetos más bien los construye dialécticamente y creativamente con fundamento *in re* (en la cosa). También hemos hablado del proyecto fallido de los “lenguajes desambiguados y lógicos” que buscan una especie de “acople pictórico” (cf. *primer Wittgenstein*, 2009) en el intento de *decir* lo que es verdadero eliminando la metáfora (cf. *supra*: *El positivismo descascarado* en el Capítulo 1). Tal acople sería posible con un punto de contacto fijo y objetivo con la empiria (positivismo lógico) sobre la que se puede establecer una lógica. Esta última postura si bien introduce apriorísticamente una “lógica trascendental” (hay una lógica que *conforma* tanto al lenguaje como a la empiria) es interesante al entender que “lo que se conoce se puede decir”, por lo que el lenguaje como herramienta de conocimiento cobra importancia. Wittgenstein en el *Tractatus Lógico-Philosophicus* ha sentenciado: “los límites de mi mundo significan los límites de mi lenguaje” (nº 5.6) y “La lógica llena el mundo; los límites del mundo son también sus límites” (nº 5.61) (Wittgenstein, 2009, p. 105), esto es, lógica, lenguaje y realidad están vinculados por un “decir” por lo que es necesario eliminar ficciones introducidas por el lenguaje. Tiempo antes los proyectistas ingleses (Laborda Gil, 1981) también buscaron eliminar tales ficciones mediante la búsqueda de un lenguaje “universal”, en palabras de Wittgenstein de tipo “pictórico”, esto es, un lenguaje que “pinte” la realidad en “perfecto acople” porque está liberado de ambigüedades metafóricas y ficciones metafísicas, pero su empresa resultó infructuosa (cf. *supra*: *¿La metáfora es un defecto del lenguaje?* en el Capítulo 1).

ha sido tratada como “no científica”, ya que es una instancia donde la falta del acople “lógico matemático” o racional lleva a calificarla como “artística” (Klimovsky, 1999, p. 79) o no lógica o irracional al dar un rodeo por la intuición de “la metáfora”.

¿Hay testimonios de tales “vacíos” que se relacionen con esa falta de “acople pictórico” de nuestro lenguaje lógico-matemático y la realidad? Esto atañe propiamente a una indagación en el “contexto de descubrimiento”.

Alfred Korzybski (1951) y Roger Penrose (1996) recuerdan que el matemático francés Jacques Hadamard en su obra *Psicología de la creación en el campo de la Matemática* aborda el estudio del tipo de pensamiento que utilizan matemáticos y físicos destacados a la hora de resolver problemas y proponer soluciones creativas. Hadamard concluye que la mayoría de ellos admiten que utilizan un pensamiento de “tipo visual”, debiendo luego buscar “con gran trabajo” las palabras o los signos “formales” que lo traduzcan “científicamente”. Penrose anota lo siguiente: “Uno de los principales señalamientos que hace Hadamard en su estudio sobre el pensamiento creativo es su impresionante refutación de la tesis, todavía tan socorrida, de que la verbalización es necesaria para el pensamiento” (Penrose, 1996, p. 376-377, subrayado propio: H.M.). Penrose cita a Einstein que —en este sentido— comenta:

Las palabras o el lenguaje, ya sea escrito o hablado, no parecen desempeñar ningún papel en mi mecanismo de pensamiento. Las entidades psíquicas que parecen servir como elementos del pensamiento son ciertos signos e imágenes más o menos claras que pueden reproducirse y combinarse “voluntariamente” (citado por Penrose, 1996, p. 376-377) (subrayado nuestro: H.M.)

Korzybski, cita también el testimonio de Einstein:

En mi caso, [los pensamientos] son fundamentalmente de tipo visual, y algunos de tipo muscular. Busco con gran esfuerzo las

palabras convencionales u otros signos, sólo, en una segunda etapa, cuando el mencionado juego de asociaciones está lo suficientemente bien establecido y se puede reproducir a voluntad... En la fase en la que intervienen las palabras estas son, en mi caso, puramente auditivas, aunque como ya he dicho sólo aparecen en una etapa secundaria [...] Personalmente, “pienso” en términos de imágenes, aunque es un problema absolutamente diferente cómo hablo después sobre esas visualizaciones. Al hacer un trabajo creativo, noto también una gran tensión en el entrecejo, debido a la visualización, lo que en mi opinión se relaciona de alguna manera con la “percepción” (citado por Korybski, 1951, p. 4) (subrayado nuestro: H.M.)

Penrose, por su parte, entiende que un lenguaje acabado como vehículo del pensamiento anularía la creación, pues es necesario cierto desacople entre la realidad que se estudia y el lenguaje que se emplea para decirla. En ese intersticio del desacople inicial interviene la creación vía abducción como hemos visto. Señala Penrose que Francis Galton habla de su forma de pensar mediante “ideas anteriores a la expresión verbal”, entendiendo a esta última como una “mala traducción” de las primeras:

Resulta una seria desventaja para mí al escribir, y aún más al explicarme directamente, el hecho de que no pienso tan fácilmente en palabras como en otras formas [...] Tengo que traducir mis ideas en un lenguaje que no corre muy a la par con ellas. Por ello gasto mucho tiempo en buscar palabras y frases apropiadas y soy consciente, cuando tengo que hablar de improviso, de ser a menudo muy oscuro por simple torpeza verbal y no por falta de claridad de percepción. Este es uno de los pequeños fastidios de la vida (citado por Penrose, 1996, p. 377) (subrayado nuestro: H.M.)

Continúa diciendo Penrose que el propio Hadamard dice:

Insisto en que las palabras están totalmente ausentes de mi mente cuando realmente pienso, y mi caso está en la misma línea de Galton en el sentido de que, después de leer o escuchar una pregunta, todas las palabras desaparecen en el preciso instante en que empiezo a pensar sobre ello; y coincido plenamente con Schopenhauer cuando escribe “las ideas mueren en el momento en que se encarnan en palabras” (citado por Penrose, 1996, p. 377) (subrayado nuestro: H.M.)

Entendemos que esta ausencia de palabras señalada por los científicos citados, es una manifestación de la falta de acople pictórico entre lenguaje (por más desambiguado y lógico que éste sea) y realidad. Finalmente el mismo Penrose dice que también él no encuentra palabras para expresar sus “conceptos” y que el testimonio de los científicos que él ha citado en este tema sintonizan con su propia experiencia:

Cito estos ejemplos porque se ajustan mucho a mis propios modos de pensamiento. Casi todo mi pensamiento matemático se construye visualmente y en términos de conceptos no verbales, aunque con frecuencia las ideas vayan acompañadas de algún comentario verbal insustancial y casi inútil, tal como “esto va con aquello y aquello va con eso otro” [...] También he experimentado frecuentemente por mí mismo las dificultades que tenían estos pensadores para traducir sus pensamientos en palabras. Con frecuencia la razón es simplemente que no hay palabras disponibles para expresar los conceptos requeridos. De hecho, yo calculo a menudo con diagramas especialmente diseñados que constituyen una especie de taquigrafía para ciertos tipos de expresiones algebraicas (cfr. Penrose y Rindler, 1984, pp. 424, 434). Sería así un proceso muy molesto tener que traducir estos diagramas en palabras, y esto es algo que sólo hago como último recurso si se hace necesario para

dar una explicación detallada a los demás. En relación con esto he notado, en ocasiones, que si me he estado concentrando intensamente en matemáticas durante un rato y alguien inicia repentinamente una conversación, entonces me encuentro casi incapaz de hablar durante varios segundos (Penrose, 1996, p. 377) (subrayado nuestro: H.M.)

Penrose impugnó desde su experiencia (y la de sus colegas) la tesis que afirma que la verbalización es necesaria para el pensamiento (considerada en una cita anterior), en sintonía, continúa diciendo:

Esto no quiere decir que no piense a veces con palabras, sino que simplemente encuentro las palabras casi inútiles para el pensamiento *matemático*. Otros tipos de pensamiento, quizá tales como el *filosofar* parecen mucho más adecuados para la expresión verbal. Quizá sea esta la razón de que muchos filósofos parecen ser de la opinión de que el lenguaje es esencial para el pensamiento inteligente o consciente. (Penrose, 1996, p. 377) (subrayado nuestro: H.M.)

Ernst Cassirer prefiere definir al hombre más que como *animal racional* como *animal simbólico* pues reconoce la urdimbre emocional e imaginativa que caracteriza al pensamiento: ¿Cómo “hacer palabra” un sentimiento?

El lenguaje ha sido identificado a menudo con la razón o con la verdadera fuente de la razón, aunque se echa de ver que esta definición no alcanza a cubrir todo el campo. En ella, una parte se toma por el todo: pars pro toto. Porque junto al lenguaje conceptual tenemos un lenguaje emotivo; junto al lenguaje lógico o científico el lenguaje de la imaginación poética. Primariamente, el lenguaje no expresa pensamientos o ideas sino sentimientos y emociones [...] Los grandes pensadores que definieron al hombre

como animal racional no eran empiristas ni trataron nunca de proporcionar una noción empírica de la naturaleza humana. Con esta definición expresaban, más bien, un imperativo ético fundamental. La razón es un término verdaderamente inadecuado² para abarcar las formas de la vida cultural humana en toda su riqueza y diversidad, pero todas estas formas son formas simbólicas. Por lo tanto, en lugar de definir al hombre como un animal racional lo definiremos como un animal simbólico. (Cassirer, 1968, p. 27) (nota al pie y subrayado nuestros: H.M.)

Finalmente, conectando con Cassirer y a modo de conclusión Piaget habla de una función simbólica en el hombre más amplia que el lenguaje —que es sólo una de sus manifestaciones—, así el pensamiento (que siempre es simbólico) precede al lenguaje:

Podemos admitir, por tanto que existe una función simbólica más amplia que el lenguaje que engloba, además del sistema de los signos verbales, el de los símbolos en el sentido estricto. Podemos decir, entonces, que la fuente del pensamiento debe buscarse en la función simbólica³ [...] como el lenguaje no es más que una forma particular de la función simbólica, y como el símbolo individual es, ciertamente, más simple que el signo colectivo, nos es permitido concluir que el pensamiento precede al lenguaje, y que éste se limita a transformarlo profundamente ayudándole a alcanzar sus formas de equilibrio mediante una

2. Al respecto cf. *supra*: Apostilla 9: conocer es una operación “ilógica” de la imaginación, subtítulo: *Lógico vs. razonable o lógica menor vs. lógica mayor* en Capítulo 2.

3. En el final de nuestro recorrido (cf. *infra*: Promesas cumplidas y apostillas finales) asociaremos esta función simbólica de urdimbre metafórica con el “instinto” que caracteriza al ser humano: tal *instinto* no será una especie de “programa fijo” como en el animal atado a un medio ambiente sino un *instinto* de “creación de programas” debido a su condición desadaptada del medio en el que nace o elige vivir (cf. Gehlen, 1987 y 1993).

esquematización más avanzada y una abstracción más móvil.
(Piaget, 1991, p. 114-115) (nota al pie agregada propia: H.M.)

Creemos que los testimonios presentados dan fundamento a nuestra postura: el pensamiento es anterior al lenguaje o que puede prescindir de él, al menos en una primera etapa. En una segunda etapa ese pensamiento “silencioso” se revestirá de lenguaje —no sin dificultades— para producir una primera expresión comunicable. Entendemos que en esta primera expresión comunicable se hacen presentes procesos metafóricos y analogías resultantes. Para arribar a una expresión científica estas analogías deberán revestirse de un lenguaje técnico. En consecuencia, existe —según la palabra de los mismos científicos citados— un pensamiento “sin palabras” de difícil traducción a la “palabra científica”.

§. *Herramientas teóricas que permiten tratar estos testimonios*

Nos hemos preguntado si ¿hay testimonios de los “vacíos” que se relacionan con esa falta de “acople pictórico” de nuestro lenguaje lógico-matemático y la realidad? Hemos sido testigos de esos testimonios recién referidos y podemos refigurar esos vacíos de los que veníamos hablando en capítulos anteriores. Los “vacíos” implican una falta “de acople” pero no se identifican con la “nada”; estos vacíos están como “preñados” y dan a luz una metáfora pertinente (cf. el sistema Luna-atracción-Tierra, con el sistema piedra-cordel-mano de la honda o “boleadora”, cf. *supra* Capítulo 4). Tanto el vacío como la metáfora que lo cubre implican una “referencia diferida” que es lo que caracteriza para nosotros a la “función poética” del lenguaje distinguida por Jakobson (1984) de la función referencial. ¿Qué queremos decir? Que a los hechos enigmáticos que hacen “vacío de explicación” el científico no puede conectarlos inmediatamente con una referencia (del tipo: “esto significa aquello [referencia]”)

y arriesga con la ilógica metáfora que hace ingresar al ruedo algo traído de otro lado pero que aporta inteligencia, entusiasmo y cierto goce estético (cf. *supra*: *Metaforizar es un alumbramiento cognoscitivo gozoso* en Capítulo 1): “esto es una especie de aquello [referencia no directa sino diferida]”. De este modo aparece en la actividad científica la función poética del lenguaje.

La función *poética* del lenguaje se da cuando el acto de habla o texto tiene una construcción tal —metáforica— que lleva a centrar la atención del oyente o lector sobre *tal construcción*, la misma presenta una impertinencia, una anomalía, algo que no encaja lógicamente con lo que se sabe.⁴

4. Según Jakobson (1984) el acento que se pone sobre el *mensaje* mismo, es lo que caracteriza la función poética del lenguaje, diferenciando claramente de la función referencial. Como el término “mensaje” está muy asociado en nuestra lengua ordinaria a una referencia, es mejor hablar de “significantes” más que de “mensaje”. Así, la función poética consigue que los significantes concentren sobre sí mismos la atención del lector u oyente, atención que en lengua ordinaria se vierte exclusivamente hacia el significado. Esa referencia diferida implica al sujeto que debe detenerse en esos signos metafóricos (no puede pasar directamente a la referencia, hay una violación o impertinencia que lo deja pensando). Este detenerse se resuelve en cierta fusión con el objeto, en ese “plus” de sentido que pertenece de aquí en más al objeto pero que no se da sin la participación activa y creativa del sujeto. Las otras funciones del lenguaje según Jakobson (1984) son: la *referencial o representativa* cuando el acto de habla transmite contenidos objetivos referidos a la realidad extralingüística contextual al acto de habla. Si el acto de habla transmite los sentimientos del emisor la función se llama *expresiva o emotiva* y hay preponderancia en ese acto del lenguaje del emisor. La entonación del mensaje puede ser otra forma de manifestar la función emotiva. Si el acto de habla busca impulsar una determinada acción o respuesta en el receptor la función se llama *conativa, apelativa o impresiva*. Si el acto de habla del emisor busca mantener o asegurar el contacto con el destinatario sin transmitir mensaje alguno, la función se llama *fáctica*. Si el acto de habla del emisor versa sobre el código de la comunicación, es decir, sobre el lenguaje mismo, la función se llama *metalingüística*, en otras palabras: usamos la lengua para hablar de la lengua, ella es el referente.

Notemos cómo aparece una referencia a lo artístico en todo proceso donde al hombre le falta la palabra “referencial” para expresarse. Es decir, la dimensión artístico-creativa aparece tanto en quien contempla un poema o ante quien se enfrenta a un hecho enigmático. Es pertinente aquí recordar que desde Aristóteles la metáfora opera rompiendo una lógica o un orden previo (cf. Aristóteles, 2004, p. 94 y Ricœur, 1977, p. 27-47). Según Aristóteles la metáfora es una alteración introducida por una palabra en un orden lógico ya constituido de antemano.

Esta transgresión en la estructura lógica del lenguaje es la que permite en la metáfora un desocultamiento revelador en la semejanza-*tensión*. A esto nos referimos al preguntar en nuestra introducción: ¿por qué la violación de un orden lógico produce conocimiento? Podemos ir contestando a esta pregunta desde la constitución metafórica del lenguaje natural (cf. Lakoff & Jonhson, 2007, cf. *supra*: *Metáforas vivas y muertas en la vida diaria: ejemplos* en Capítulo 1); tal violación produce conocimiento porque la estructura lógica del lenguaje es resultado de un *katacrescido* (que esconde la metáfora original): en el proceso de “llenado de vacíos” vía metafórica que va constituyendo el lenguaje —y que termina en *katacresis*⁵— hay una nueva posibilidad de desorden, una “reserva” de sentido que no se actualiza hasta que una nueva metáfora lo libera.

Detrás de ese orden lógico creado por el lenguaje hay escondida una posibilidad de desordenar el lenguaje con la metáfora que habilita seguir hurgando y creando la realidad, no es un lenguaje de tipo “lógico-matemático” o “pictórico” que lo ha dicho todo (cf. *supra*: *Un pensamiento sin palabras de difícil traducción a lo científico*), ya que un lenguaje de este

5. Como anunciamos, proviene del griego *katá-krisis*: condenación a muerte (Pabón, 2001, p. 329.356). En este libro utilizamos la palabra *katacresis* en el sentido etimológico de *muerte* referida a una metáfora, lo que significa su *lexicalización* y consecuente olvido de su origen metafórico.

tipo como vehículo del pensamiento anularía la creación. En otras palabras, es necesario —para crear— cierto *desacople* entre la realidad que se estudia y el lenguaje que se emplea para decirla (de lo contrario el lenguaje “pintaría” la realidad que coincidiría perfectamente con lo que se dice sobre ella, sin posibilidad de introducir desorden o una recreación o progreso en su conocimiento). En el caso de la metáfora newtoniana de la honda o “boleadora” del Capítulo 4 se transgrede un orden previo (orden que no se basa en un acople pictórico lenguaje-realidad correspondiente a un orden “dicho” para siempre); de hecho la metáfora enlaza el orden del cielo igualándolo al de la tierra a través de una legalidad que se vuelve universal y homogeiniza lo celeste y lo terrestre (algo *inaudito* hasta el momento). En conexión con lo que venimos diciendo, al pensamiento que —debido a la referencia diferida por falta de acople lógico con lo que se sabe— aún no es palabra podemos adscribirlo al llamado pensamiento silencioso de Korzybski (cf. *infra*: *El “pensamiento silencioso” y la habilitación de la creatividad*) o a la “idea pura” de Peirce (cf. subtítulo que sigue a continuación).

§. La “idea pura” y su revestimiento metafórico

La idea de un vacío semántico o hermenéutico implica que la construcción metafórica está suponiendo una distinción o una distancia entre el pensamiento no verbal —que nombramos siguiendo a Peirce como “idea pura” (o “desnuda”)— y el pensamiento traducido o revestido de un lenguaje que permite decirlo. Ortega y Gasset (cf. Karagiannis, 2005, p. 131) entiende que cualquiera que sea la idea, ésta tiene que ser simbolizada o metaforizada (“vestida”), de lo contrario quedaría como una “sombra incomunicable” (sería lo que Korzybski [1951] refiere como “pensamiento silencioso” cf. *infra*: *El “pensamiento silen-*

cioso” y la habilitación de la creatividad). Charles S. Peirce se ha pronunciado respecto de “la idea pura” y la necesaria expresión metafórica de la misma:

Se ha dicho con desprecio que la metafísica es una fábrica de metáforas. Pero no sólo los conceptos metafísicos, sino también los faneroscópicos⁶ y los lógicos⁷ necesitan revestirse de tales trajes. Pues la idea pura sin una metáfora u otra ropa significativa es una cebolla sin piel.⁸ (Peirce, 2004 [1906], párr. 8 del N° 9) (notas anexadas propias: H.M.)

En este revestimiento de la idea, la misma queda irremediablemente unida a la *praxis* de quien produce dicho revestimiento, por esto decíamos que el vacío semántico o interpretativo no era “una nada” sino algo preñado que dará a luz una metáfora (desde la cantera de analogías).⁹ Hablar de una “idea pura” anterior al revestimiento de la palabra supone un poder “pensar sin palabras”, esto lleva nuestro recorrido al siguiente punto.

6. Como ya aclaramos deriva de *fanerón*: “el total de todo lo que de algún modo o en algún sentido está presente en la mente, con independencia absoluta de si corresponde a algo real o no, (Peirce, CP 1. 284; 306)” citado por Vericat (1988), equivalente a *phenomenon*: “todo lo que en cualquier sentido está ante nuestras mentes”, (Peirce, CP 8. 265)” citado por Vericat (1988). Este concepto es clave de su fenomenología.

7. Gastón Bachelard critica el sistema conceptual y el pensamiento emergente que ha metaforizado todo en base a la *dicotomía dentro-fuera, on-off, verdadero-falso*. Todo se dicotomiza y Bachelard entiende que esto encorseta la cultura y la reflexión dejándola en la incomodidad y la pobreza ya que no todo es blanco o negro. Tal dicotomía hace pie en el “dentro-fuera” de nuestro cuerpo y metafóricamente se vuelve lógica binaria. (cf. Bachelard, 2005, p. 250).

8. Peirce entiende a la cebolla una suma de capas o pieles, una cebolla sin piel se reduce —entonces— a la nada.

9. Para Ortega la metáfora sería una similaridad entre la idea y la intuición sensible y parece coincidir con Kant en una especie de juicio sintético a priori que sería la síntesis metafórica (cf. *infra*: *El cubrimiento exitoso del vacío preñado*).

§. El “pensamiento silencioso” y la habilitación de la creatividad

¿Qué medió —refiriéndonos al Capítulo 4— entre el mirar la Luna girando sobre la Tierra y la imagen de una honda o “boleadora”? Esa imagen vino a cubrir inicialmente un “vacío” y ese vacío era un vacío de palabra pero no un vacío de pensamiento, ya que si fuera un vacío de pensamiento nunca se hubiese seguido la imagen metafórica. Agregamos también que ese pensamiento aún sin palabra es algo preñado que da a luz desde la cantera de analogías una metáfora y en esto hay cierta lógica; esa lógica se actualizará incipientemente en la metáfora, por lo que todo este proceso adscripto al contexto de descubrimiento tiene su lógica,¹⁰ no es algo irracional.

Este pensamiento sin palabra, preludio del surgimiento de la metáfora, ha sido analizado por un ingeniero de Varsovia, Alfred Korzybski que fue quien utilizó esa metáfora a la que hemos acudido numerosas veces: “el mapa no es el territorio” (Korzybski, 1951, párr. 113). Hablando sobre el proceso de abstracción desde un punto de vista no aristotélico Korzybski (1951) ha dicho que el funcionamiento del sistema nervioso tiene un carácter electrocoloidal, por lo que, cuando “percibimos” un suceso o evento (“evento” en el sentido que le da Whitehead de corte transversal instantáneo en un proceso) tenemos un suceso de “primer orden”

10. Esta lógica es la *lógica mayor* que es la que estudia el proceso de desarrollo del conocimiento, y que en nuestro estudio tiene a la metáfora como vehículo principal en el camino hacia el conocimiento y ampliación del horizonte conceptual. Tal *lógica mayor* se distingue de la *lógica menor* que es la lógica como ciencia que estudia las leyes que rigen las inferencias racionales desde el punto de vista de su validez formal. (cf. *supra*: *Lógico vs. razonable o lógica menor vs. lógica mayor* en Capítulo 2). Normalmente se desconoce que aún dentro de esta *lógica menor* no está ausente el proceso de la metáfora sino que —aunque escondida— participa medularmente en un razonamiento frecuentemente olvidado en el estudio de la *lógica menor* que es el *razonamiento abductivo*. Sobre tal influencia de la metáfora en lógica, ver para más detalles: Magnasco, 2024, Capítulo 2: *La metáfora escondida en la lógica*.

que ha ocurrido en niveles no verbales o niveles “silenciosos”, es decir, niveles dónde no anida la palabra. Al reflejarse sobre un evento —por ejemplo la caída de una caja de fósforos— la luz impresiona en el ojo produciéndose en el cerebro una serie de configuraciones electrocoloidales. Reaccionamos, entonces, a esas configuraciones en los niveles “silenciosos” con ciertos “sentimientos”, algunas evaluaciones, etc., sobre ellas. Por último “entramos” en los niveles verbales y podemos “decir el evento”: hablar sobre dichas reacciones orgánicas del nivel silencioso. Leamos a Korzybski:

Newton hubiera denominado “gravedad” a la caída de la caja; Einstein emplearía el concepto de “curvatura espaciotemporal”. Digamos lo que digamos sobre el suceso de primer orden éste pertenece a los niveles silenciosos. El cómo hablemos [en una segunda etapa] sobre ello puede variar de día a día, de año en año, de siglo a siglo. Todos nuestros “sentimientos”, “pensamientos”, nuestros “amores”, “odios”, etc., suceden en los niveles no traducibles a palabras [esto es, niveles silenciosos, donde no “anida” la palabra], viéndose estos afectados por los niveles verbales gracias a una interacción continua. Cara a los demás o a nosotros mismos podemos verbalizar sobre ellos, intensificarlos, disminuirlos, etc., pero esto constituye un problema diferente. (Korzybski, 1951, párr. 11) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Este autor entonces plantea una distancia entre el percibir (electrocoloidal) y el decir, el revestimiento sígnico de la experiencia coloidal dependerá de la cantera de analogías que anida en la praxis del que percibe. Vemos aquí la consolidación de la oportunidad del pensamiento creativo. El referirse siempre a una “cantera de analogías” puede generar la sensación de una inteligibilidad como “reducción a lo conocido”, pero es importante captar entonces que

funciona la abducción, que según Peirce aporta el mayor grado de *uberty* o de fecundidad creativa.¹¹

Refiriéndose al pensamiento científico y su capacidad creativa Korzybski (1951) afirma que existe una gran diferencia entre “pensar” en términos verbales, y “contemplar” en silencio, en los niveles no verbales para luego —en un segundo momento— buscar la estructura adecuada de lenguaje que se ajuste a esos procesos silenciosos que intentan ser dichos o explicados o descubiertos por la ciencia moderna. Lo recién dicho y lo que sigue abona la hipótesis del rodeo por la metáfora que se da en el contexto de descubrimiento ante el vacío hermenéutico:

Cuando “pensamos” verbalmente actuamos como observadores sesgados y proyectamos la estructura del lenguaje que empleamos en los niveles silenciosos, con lo que permanecemos en nuestras viejas orientaciones que hacen imposible que desarrollemos buenas observaciones (¿“percepciones”?) no sesgadas y trabajo creativo. Por el contrario, si en nuestra búsqueda general de una semejanza entre los dos niveles, el silencioso y el verbal, “pensamos” sin palabras, con imágenes, o con visualizaciones (que implican estructura, y por tanto, relaciones) podremos descubrir nuevos aspectos y relaciones en los niveles silenciosos

11. Algunos se han preguntado si todo pensamiento es verbal, es decir si todo pensamiento se basa en palabras o en nuestro lenguaje (aquí se da una especie de inmediatez, anulándose el pensamiento del nivel silencioso). Si se responde que sí, nos limitamos al “pensamiento” verbal y bajo tales condiciones dificultamos cualquier obra científica o creativa, ya que el molde del lenguaje nos impide ver de forma “diferente” el mundo exterior o interior. (J. L. Borges ha hecho notar cómo un sistema de signos finitos como el de la lengua puede dar lugar materialmente a una biblioteca infinita —cf. *La Biblioteca de Babel* (Borges, 1941a)— y cómo un solo libro puede dar lugar a infinitas interpretaciones —cf. *Pierre Menard autor del Quijote* (Borges, 1941b)—, con lo cual aconseja no reducir las producciones de la lengua a una mera combinatoria, es decir, el pensamiento es más que una combinatoria de los signos del lenguaje).

y podremos formular importantes resultados teóricos. Prácticamente todos los grandes avances se han logrado de esta manera. (Korzybski, 1951, párr. 24) (subrayado propio: H.M.)

En el polo opuesto —y contradiciendo los testimonios que hemos traído—, algunos ven la percepción muy condicionada por el lenguaje, y ante la cuestión de si captamos —mediante la percepción— un orden exterior o más bien lo imponemos, se inclinan por esto último siendo el “elemento ordenador” el lenguaje inmerso en la cultura, es lo que se conoce como la “versión fuerte” de la llamada “hipótesis de Sapir-Whorf”:

El “mundo real” se construye en gran medida de forma inconsciente sobre las costumbres lingüísticas del grupo. Los mundos en que viven las diferentes sociedades son mundos distintos, y no meramente un mismo mundo al que se le han puesto etiquetas distintas. (Sapir, citado por Hollis, 1994, p. 238) (subrayado propio: H.M.)

En este sentido pero en una “versión débil” dijo Alonso Schökel: “se debe admitir que la lengua condiciona parcialmente al hablante y puede condicionar su modo de pensar y de sentir (algunos señalan el caso extremo en que condiciona incluso algunas percepciones)” (Alonso Schökel, 1986, p. 151).

La afirmación “fuerte” de que “imponemos” unilateralmente orden, más que descubrirlo o crearlo con fundamento *in re*, pone en entredicho la creencia de que la percepción nos proporciona un conocimiento objetivo del mundo. Dice Hollis respecto de la percepción influenciada no ya sólo por el lenguaje sino por la cultura y sus categorizaciones:

Las culturas varían enormemente en la manera de conceptualizar y ordenar sus experiencias [...] Los occidentales orga-

nizan su experiencia y le dan sentido mediante categorías de espacio, tiempo, causa, número, acción y persona, por ejemplo, que no son evidentemente universales, por lo menos en el detalle. Otras culturas carecen de nuestra noción de sí mismo y algunas parecen no tener noción alguna de identidad personal (Hollis, 1994, p. 237)

Tanto los que se inclinan por una versión fuerte, como los que lo hacen por una versión débil de la hipótesis de Sapir-Whorf, admiten que la percepción está condicionada por factores lingüísticos-culturales por lo que no puede hablarse sin más de un punto de contacto fijo con la empiria que eliminaría el vacío hermenéutico (en el caso de hechos intrigantes) o la participación mediadora de metáforas sustancializadoras, espacializadoras y estructuradoras que “visten” las sensaciones (en los casos de un hecho de conocimiento o reconocimiento por ejemplo) (cf. *supra*: *La ficción de los puntos de partida de la “lectura” sin metáforas*, Esquemas N° 10, 11 y 12 en Capítulo 3).

Nietzsche ha hablado de este vestimento o revestimiento sígnico o verbal posterior en términos de metáforas:

La “cosa en sí” (eso sería la verdad pura y sin consecuencias) es, además, totalmente inaprehensible y no resulta en absoluto deseable para el creador de lenguaje. Este designa tan sólo las relaciones de las cosas con los seres humanos y para su expresión recurre a las metáforas más atrevidas. ¡Un estímulo nervioso extrapolado en primer lugar en una imagen! Primera metáfora. ¡La imagen transformada a su vez en un sonido articulado! Segunda metáfora. Y en cada caso, un salto total de esferas, adentrándose en otra completamente distinta y nueva (Nietzsche, 2011, p. 611)

En la cita la frase “un estímulo nervioso” sería asimilable al pensamiento silencioso de Korzybski o a la idea pura de Peirce, la sentencia completa: “¡Un estímulo nervioso extrapolado en una imagen! Primera metáfora” estaría habilitando la creación con fundamento *in re*, en la cosa, aportando a la creación su dimensión objetiva.

§. El “pensamiento silencioso” como una fase del “vacío interpretativo”

Ese “pensamiento silencioso” o “idea pura” sería una fase del “vacío interpretativo” que es cubierto por el mecanismo metafórico del “horizonte de la vida operante” (cf. *supra*: *Horizontes del mundo y de la vida operante* en el Capítulo 2). Notar que ese “vacío interpretativo” no es “la nada”, hay una fase de idea (“pura”) o pensamiento (“silencioso”) que está cargado de una potencialidad que se actualiza en la metáfora proveniente de la “cantera de analogías” (cf. Samaja, 2004, p. 138). Si fuera la “nada”, el cubrimiento del vacío sería totalmente subjetivo y caprichoso, una especie de loca prueba-error (al respecto cf. *infra*: *El instinto peirceano de adivinación* junto con las reflexiones de Peirce sobre la abducción, que es un razonamiento que supera totalmente una ciega prueba-error).

Lo dicho nos permite afirmar que la metáfora es un instrumento de conocimiento no sólo en poesía como tradicionalmente se aceptó —a partir de un renovado estudio sobre Aristóteles— sino en ciencia, tal como hemos visto en la indagación empírica sobre su operatoria en el contexto de descubrimiento (cf. *supra*: capítulos 1 al 9).

XLII. EL CUBRIMIENTO EXITOSO DEL VACÍO PREÑADO

§. *El “vacío interpretativo” y el acicate intelectual del “horror vacui”*

Hemos hablado del “horror vacui” (cf. *supra*: *Cubriendo vacíos desde el horror vacui* en el Capítulo 1), como la tendencia a cubrir vacíos hermenéuticos (o vacíos de explicación) producidos por hechos enigmáticos, paradójicos, desconcertantes, problemáticos, en tanto no encajan con el cuerpo de conocimientos vigentes en determinado campo. Hay que reconocer que este cubrimiento viene teniendo mucho éxito. En ciencia física hay muchas metáforas “físicalistas” (pues explican lo abstracto-invisible por medio de imágenes físicas o materiales¹²) que han tenido “éxito” y han permitido comprender y producir conocimiento.

Estas metáforas han perdurado y —de tanto uso— se han “naturalizado” y lexicalizado. Pensemos por ejemplo en la “corriente”¹³ eléctrica... el símil del fluido, la analogía con una corriente de agua por un canal o cañería han permitido describir un fenómeno “invisible” desde la experiencia diaria e histórica de los palpables ríos vinculados a la vida, al sedentarismo y a la socialización de los hombres. La corriente eléctrica no podemos asegurar que sea una corriente fluida, pero de algún modo lo es porque la analogía funciona y ha permitido explicar, comprender y pensar muchos fenómenos que “tienen que ver” con eso que llamamos electricidad. Hay una estructura análoga en ambos fenómenos. Hay uso desviado o

12. “Físico, ca (del gr. *natural*): Perteneciente o relativo a la constitución y naturaleza corpórea” (DRAE).

13. Como sustantivo, el diccionario nos ofrece como primera acepción: “Movimiento de traslación continuado, ya sea permanente, ya accidental, de una masa de materia fluida, como el agua o el aire, en una dirección determinada. (DRAE).

análogo de “corriente”, hay “traslación” del ámbito de los flujos de agua de un esquema y sustitución que llena el “vacío semántico” y le confiere “un ropaje visible” a la idea.

Otra metáfora exitosa ha sido el trasladar al ámbito de la luz el esquema de ondas¹⁴ en el agua u “olas”;¹⁵ así decimos que la luz “es” una onda, aunque en realidad “no es” sino que “se comporta” (a veces) como una onda... Aquí la analogía recae sobre el funcionamiento y ha permitido explicar fenómenos como el de la interferencia y la difracción de la luz. El éxito del “modelo” o esquema teórico proyectado sobre la realidad se confunde con la realidad y se dice sin más “la luz es una onda”... Es como si confundiéramos la naturaleza con una granja (recordando la analogía utilizada por Darwin, cf. Samaja, 2004, p.99).

En estos ejemplos sobre la corriente eléctrica, o en el de la honda o boleadora y la dilución de la luz del Capítulo 4 (*La ley de atracción universal y su base en el sistema de metáforas de Newton centrado en las de “la boleadora” y “la dilución”*) o en el de la ola acuática del Capítulo 8 (*La dimensión artístico-metafórica de la producción científica contemporánea: sentir la belleza como verdad y realizar predicciones estéticas*), la metáfora está funcionando más allá del nivel lingüístico en el que tradicionalmente se la ha incluido. Es decir, hay un análogo y un analogado¹⁶ pero son ámbitos —no palabras— entre los que hay una distancia que hace a la metáfora. El éxito de la misma consistirá en la captación de la estructura común, en llenar pertinentemente el “vacío semántico” o “vacío hermenéutico” (recordemos que en nuestro estudio la *analogía* es el resultado de la acción metafórica, cf. *supra*: *La analogía fruto del traslado —metaféro— del esquema* en Capítulo 1). En esta última frase por un lado hay

14. El diccionario nos ofrece como primera acepción para *Onda*: “Cada una de las elevaciones que se forman al perturbar la superficie de un líquido” (DRAE).

15. El diccionario nos ofrece como primera acepción para *Ola*: “Onda de gran amplitud que se forma en la superficie de las aguas” (DRAE).

16. Clásicamente esto se relaciona con el cuarto tipo de metáfora de Aristóteles.

un problema y por otro un salto inferencial. El problema está dado por el tema de la “pertinencia” en el llenado del “vacío semántico”: ¿cómo se justifica? Paul Ricœur (1977) habla de “metáforas vivas” que son las que parecen acercarse más al fenómeno de la analogía, al poner la “evidencia de una pertinencia” desde su teoría general de la imaginación como productora de un acercamiento pertinente en el espacio mental lógico entre elementos heterogéneos o muy distintos entre sí.

El salto consiste en que ya no hablamos sólo de “vacío semántico” (cuando falta la palabra para revestir un concepto) sino que hablamos de “vacío hermenéutico”. ¿A qué nos referimos? Lo hermenéutico —o lo interpretativo—¹⁷ hace referencia a lo subjetivo, a lo que el sujeto “pone de sí” en el conocimiento, lo cual no invalida tal conocimiento sino que lo ubica en su ser y en su riqueza: está aquí la vinculación con la “cantera práxica” de donde “sacamos” esquemas para “poner sobre” la realidad o donde la realidad misma “llama a poner” sobre ella el esquema en un “diálogo” (notar que hemos dicho que el vacío no es “la nada”, ese vacío está como “preñado” en tanto depende de la cosa y del sujeto).¹⁸

17. Si bien ya hemos hablado de la postura hermenéutica que ha sostenido nuestra investigación, aclaramos el término “hermenéutico” un poco más: tomamos el sentido de “hermenéutico” como “interpretativo” en el sentido de la hermenéutica que se inscribe dentro de las Semióticas de 2ª y 3ª generación (Zechetto, 2002), donde la interpretación es un esfuerzo de comprender la propia existencia desde una situación determinada (2ª generación, años 70, Gadamer, Ricœur) y un esfuerzo de transformación de la realidad (enfoque pragmático, 3ª generación, mediados de los años 80, Paolo Fabbri, Landowsky).

18. Es interesante —desde aquí— leer la afirmación de Peirce en una carta a Lady Welby de 1911 a la que ya hicimos referencia: “[...] es totalmente cierto que nunca podremos alcanzar un conocimiento de las cosas tal como son. Podemos conocer sólo su aspecto humano. Pero ese es todo el universo que existe para nosotros” (Peirce citado por Nubiola, 2001, p. 191; también en Nubiola, 2002, párr. 7, subrayado nuestro: H. M.).

La idea del “vacío hermenéutico” tal como la venimos empleando en este libro entendemos que es original (si bien el ascenso a su formulación se basa en estudios de Ricoeur¹⁹). Queremos con ella referirnos a un “vacío interpretativo” *que se produce frente* a unos hechos que nos resultan desconocidos, intrigantes, como cabos sueltos, como a primera vista “incoherentes”. Aquí aparece un acicate intelectual que impulsa un proceso de búsqueda, de procurar llenar ese vacío en una especie de “*horror vacui*”. Como dijimos (en *supra*: *Cubriendo vacíos desde el horror vacui* en Capítulo 1) la idea de “vacío hermenéutico” es original en nuestra investigación en tanto se corresponde, a manera de díptico, con esta idea de “horror vacui”, es decir, con un concomitante acicate intelectual. Tal acicate puede ser una oportunidad a tomar en la enseñanza de la ciencia (como señalamos, cf. *supra*: *Oportunidad en la enseñanza de la ciencia*, en nuestra Introducción).

§. Pertinencia en el “cubrimiento” del “vacío interpretativo”

En las *Promesas de inicio de camino* que hicimos (cf. *supra*: Introducción a este libro) nos propusimos mostrar que hay pertinencia de la metáfora en el cubrimiento teórico del “vacío interpretativo”. Esto queda de hecho evidenciado por la desaparición estable del “vacío” y la “katacrescición” de la imagen metafórica, es decir el olvido de su origen metafórico (como hemos dicho, en ciencia varias

19. Paul Ricoeur (1977) estudia la metáfora progresando en tres niveles: la metáfora en el nivel de la palabra (estudios primero y segundo), la metáfora en el nivel de la frase (estudios tercero, cuarto y quinto) y la metáfora en el nivel del discurso (estudios sexto, séptimo y octavo). La obra apunta a una interpretación de la metáfora en términos de discurso, a “contracorriente” de la definición tradicional en términos de nombre y de denominación (nivel de la palabra). Somos deudores en todas estas intuiciones de este profundo y difícil estudio sobre la metáfora: al pasar del nivel de la frase al nivel del discurso, el tratamiento de la metáfora pasa de lo semántico a lo hermenéutico y aborda el tema de la referencia en el discurso poético.

de estas expresiones son tomadas como términos *técnicos*, por ejemplo: *corriente eléctrica*). También nos propusimos mostrar que es susceptible dicha imagen metafórica del “revestimiento lógico matemático” que da origen a los modelos de este tipo. El olvido del origen metafórico se produce por ese paso al “modelo” que resulta exitoso y que oculta a la vívida metáfora. Notemos que más allá de su olvido, sin el cuerpo o la textualización producida por la metáfora (o vestimento metafórico) no habría revestimiento posterior en el “modelo”.

Nos propusimos mostrar que hay una pertinencia o “validez empírica” de la metáfora, que esa imagen tiene que ver con lo real y no es una pura fantasía que llegó casualmente a tener éxito. Tales pertinencias señaladas anidan en la *praxis* del investigador/profesor/alumno.

Queda entonces aún por justificar la “pertinencia práxica” de la metáfora que lleva a construir un esquema interpretativo llenando el “vacío hermenéutico”. Por pertinencia “práxica” queremos manifestar que ella no es idealista (veracidad como mera coherencia en un sistema intramental) sino que tiene un fundamento “*in re*”, en la cosa, una base empírica. Sin la lógica dialéctica (constitución de los conceptos mediante tesis, antítesis y síntesis) acompañada por una epistemología dialéctico-genética,²⁰ este fundamento queda en el aire. La síntesis “recaída en la inmediatez”,²¹ como si fuese algo sin génesis, da la sensación de haber obtenido conocimiento “*a priori*”, es decir, sin relación con la empiria (cf. *supra*: *La ilusión de los juicios sintéticos a priori* en el Capítulo 7). Este reparar en lo

20. Samaja dice: “las epistemologías dialéctico-genéticas proponen (con diversos matices) la gran idea de la evolución biológica y la historia social como modelo para interpretar el proceso de construcción de estos encuentros monadológicos entre el mundo de las formas fácticas y las formas de las teorías” (Samaja, 2004, p. 133).

21. Como ya recordamos, la *recaída en la inmediatez*, es una expresión de Hegel, significa tomar una estructura por dada e ingénita, cuando en realidad ha tenido una génesis, una construcción.

semejante, a través de la focalización de elementos fácticos relevantes (en curiosa economía), supone una “teoría”, un esquema metafórico de traslado, que culmina en una analogía.

Este incipiente cartografiado es una especie de juicio sintético a priori, juicio *sintético* porque recapitula facticidades, pero *a priori*, porque no está basado *hic et nunc* (“aquí y ahora”) en ellas... Hay una memoria de vida, de adaptaciones, de éxitos pragmáticos en ese mirar que se apropia económicamente y heurísticamente de lo relevante (tratamos de expresar con palabras pobres algo muy rico).²²

Así, analogías, modelos, metáforas se traducen tanto en pautas “económicas” de observación (hechos) como en enunciados teóricos siendo el puente que produce el encuentro real entre la dimensión empírica y la dimensión teórica del proceso de conocimiento científico mediado por la metáfora. Este hecho relaciona la ciencia con lo artístico, el conocimiento con la imagen, la razón con la fantasía.²³

Podemos concluir que el éxito del llenado se debe a que el mismo no es ciego (buscar cualquier explicación con el objeto de tranquilizar nuestra ignorancia), sino que tiene fundamento en la cosa, es decir, alcanza el misterio de lo real.

§. “Medir” el éxito del mecanismo metafórico

¿Cómo “medir” el éxito del mecanismo metafórico en el cubrimiento del “vacío hermenéutico”? El “éxito” del mecanismo de “llenado del

22. Samaja dice con frases mucho más ricas: “[...] en toda teoría están las huellas de experiencias ya conquistadas y de las cuales se han extraído por reflexionamiento los elementos invariantes que permiten anticiparla como si dijéramos a priori. En toda construcción lógica hay una fuerza demostrativa porque toda lógica es un *ri-corsi* de un *corsi* protagonizado con anterioridad y en el cual la propia subjetividad se ha constituido. Por eso *comprender* y *aceptar como evidente* significan lo mismo: *rehacer la coordinación general de experiencias siempre posibles*” (Samaja, 2004, p. 134). Este *rehacer* es la *praxis*.

23. Pensamos aquí en la narrativa como método de investigación (cf. Bruner, 2004; Jimenez Barriga, 2008, p. 45ss)

vacío” interpretativo es en otras palabras su éxito como “inteligencia”, “creación” y “comunicación”. Como respuesta proponemos desde los indicadores del éxito de la metáfora para cubrir el “vacío semántico” encontrar los indicadores para el éxito en el cubrimiento del “vacío” interpretativo. En el ámbito del lenguaje natural encontramos tres indicadores que interpretamos como “las consecuencias” del hecho de que un “vacío semántico” ha sido cubierto y que el lenguaje ha tenido “éxito” en su constitución metafórica:

- I. La “desaparición estable” de tal vacío, es decir, el “éxito” de tal “cubrimiento”.
- II. Que se “naturalice tal cubrimiento”, es decir, que se produzca *katacrexis*, cierto olvido del origen metafórico (por ejemplo: las “patas” de la mesa). La *katacrexis* es denunciada —a veces— al consultar un diccionario etimológico.
- III. Que se produzca un efecto heurístico constructor de conocimiento —por el traslado metafórico de una cosa de un ámbito a otro ámbito “ajeno” (por ejemplo: hablar de “llama” por “amor” y expresar el conocimiento sobre el “amor” desde los efectos conocidos de una “llama”²⁴)—.

Trasladamos las mismas ideas al ámbito del cubrimiento metafórico del “vacío hermenéutico” agregando un indicador más de dicho “éxito”:

- I. La “desaparición estable” de tal vacío, es decir, el “éxito” de tal “cubrimiento” se observa en que la explicación se usa con éxito.

24. “por un lado y claramente ‘llama’ y ‘amor’ son cosas distintas y decir ‘llama’ por ‘amor’, o ver el amor como una ‘llama’, genera una tensión y un uso inapropiado o ‘desviado’ de ‘llama’; por otro lado la praxis humana encuentra una pertinencia, hace una conexión entre el esquema de la ‘llama’ y el ámbito del ‘amor’. La distancia inicial planteada por el esquema de la llama no es insalvable e invita a trazar un puente, esto es, inferir consecuencias —innovadoras— sobre el segundo ámbito: lo caliente, lo ardiente, lo luminoso, lo quemante, lo que hace llaga cuando toca, lo que convierte en fuego lo que toca, lo inasible, lo que permanentemente se renueva tiene que ver con el amor...” (Magnasco, 2024, p. 34-35).

- II. Que se “naturalice tal cubrimiento”, es decir, que se produzca *katacrexis*, cierto olvido del origen metafórico, el éxito lleva a confundir modelo con realidad (por ejemplo, las líneas de fuerza de Faraday entendidas y matematizadas por Maxwell a partir de las líneas que sigue una partícula de líquido en movimiento desde fuentes hacia sumideros... Todo este procedimiento metafórico culmina en las “4 ecuaciones de Maxwell” que suelen ser tomadas por axiomas de los cuales *se deducen* todos los fenómenos electromagnéticos... ¿Son *reales* las ecuaciones de Maxwell? —*realismo* de las ecuaciones de Maxwell— ¿La realidad es *descrita* por ellas o son un mero instrumento para nuestros juegos mentales predictivos? —*instrumentalismo* de las ecuaciones de Maxwell— (cf. *supra*: *Relación Matemática-Física* en Capítulo 7).
- III. Que se produzca un efecto heurístico constructor de conocimiento por el traslado metafórico de una cosa de un ámbito a otro ámbito “ajeno” (por ejemplo hablar de “ondas” por “luz” y construir conocimiento suponiendo que la luz se comporta como olas en el agua) esto es, puede detectarse una conexión “funcional” de ámbitos diversos unidos por el mecanismo semiósico-metafórico que permite inferir “funcionamientos” en el ámbito sujeto a investigación a partir de funcionamientos análogos en el ámbito familiar.
- IV. Ayudan a “trepar la cuesta abstracta” transformándose de metáfora a modelo, un “ropaje lógico matemático” la troca en modelo.

Ya hemos visto el caso de las metáforas que permiten a Newton arribar a su famosa Ley de Gravitación (cf. *supra* Capítulo 4) y hecho referencia a las metáforas implicadas en sus famosas Leyes del movimiento (cf. *infra*: Anexo 2). También hemos visto los traslados metafóricos desde Newton a Maxwell (cf. *supra*: Capítulo 6). En el caso concreto del Electromagnetismo, los propios escritos de Maxwell (Maxwell, 1890a y 1890b) registran la presencia de analogías

mecánicas que se remontan a Faraday y cuyo éxito está patente en que permitieron arribar a una síntesis físico-matemática que fue base del desarrollo de múltiples aspectos de la física (cf. *supra*: capítulos 6 y 7 e *infra*: Anexo 5). Estos éxitos de base metafórica constituyen un fundamento sólido para toda la física, en palabras de Einstein: “estaba justificado creer que por el camino iniciado con tanto éxito por Faraday y Maxwell se iría encontrando poco a poco una base firme para toda la física” (Einstein, 1983, p. 39); como de hecho ocurrió en el campo clásico.

§. *¿Pero por qué la metáfora tiene éxito en el cubrimiento del vacío?*

Inicialmente diremos que la metafísica y el “método” lógico-matemático de interrogación de la naturaleza para llegar al objeto en estudio, de algún modo comienza a configurarlo de antemano en base a metaforizaciones. Esta configuración incipiente ha quedado reflejada en la etimología de la misma palabra “método”.²⁵ Considerar que el científico se acerca al objeto con una interrogación sin haberlo configurado previamente y sin una metafísica escondida (que anticipa o anhela simetrías económicas y bellas) ignora el problema epistemológico de la superación de la “contradicción interna de la ciencia”²⁶ (que ninguna de las dos posturas tradicionales —empirismo y racionalismo— puede explicar). Es por

25. Proveniente del griego, significa: “camino, procedimiento” (Pabón, 2001, p. 382), indica que tal concepto entraña algo esencialmente fijo en cuanto que está vinculado metafóricamente a la geografía: hay un traslado desde los senderos marcados en el paisaje por haber sido transitados repetidas veces por los transeúntes. Se diferencia del griego “odos” —que también significa “camino, senda” (p. 418)— debido a la preposición “meta-” que significa: “enseguida, a continuación, después” (p. 388); método puede entenderse como lo que está *a continuación* del camino, “la meta”, por lo que todo “método” de algún modo plantea desde el inicio el lugar al que se va a llegar.

26. Cf. *supra*: Apostilla 3: conocer es superar la contradicción interna de la ciencia en Capítulo 2.

ello que nosotros hablamos no de un mero “vacío hermenéutico” (como laguna sin más), sino de un vacío que concommita con un “horror vacui” o acicate intelectual que metafóricamente hemos señalado como un vacío hermenéutico “preñado” (como dijimos más arriba, en *supra*: *El “vacío interpretativo” y el acicate intelectual del “horror vacui”*).

El instinto peirceano de adivinación

Nuestra hipótesis sobre la participación medular de la metáfora en ciencia fue fruto de una variedad de experiencias y conocimientos que anidaban en nuestra *praxis* ¿cómo justificar la aparición de tal hipótesis? Podríamos preguntar al respecto: ¿cómo surgen nuestras hipótesis, conjeturas o ideas (en el ámbito que sea)? La intuición o hipótesis o conjetura no es algo irracional (cf. *supra*: *¿Irracionalidad de las hipótesis?* en el Capítulo 1), se basa en el razonamiento abductivo —muchas veces no reconocido como razonamiento por la lógica menor, pero que sin embargo funciona siempre (cf. *supra*: *Apostilla 1: conocer es abducir* en Capítulo 2)— y que es rescatado de la antigüedad clásica por Charles S. Peirce.

Dice el prestigioso profesor Dr. Juan Samaja: “Las conjeturas emergen en la frontera entre la mera recepción pasiva y la actividad espontánea del intelecto: Peirce la llama a veces ‘la facultad de adivinar’ y acertadamente —según creo— la vincula, la entronca con el proceso evolutivo” (Samaja, 2004, p. 233).

Puede sorprender que un filósofo, lógico y científico del calibre de Charles S. Peirce adscriba la hipótesis a un instinto o facultad de “adivinar” y que lo vincule al proceso evolutivo. Peirce caracteriza el instinto de adivinar o de adoptar una hipótesis como una “ensalada singular [...] cuyos ingredientes principales son la falta de fundamento, la ubicuidad y la fiabilidad” (Peirce, Ms 692, citado por Eco & Sebeok, 1989, p. 36-37). La falta de fundamento tiene que ver con esa dimensión de adivinación que aparta a este

instinto de lo claramente discernido, su fiabilidad tiene que ver con un sentimiento de fuerte adhesión interior que la hipótesis genera, su ubicuidad es ejemplificada por el mismo Peirce con el conocido relato sobre la azalea (cf. *supra*: *Apostilla 1: conocer es abducir* en Capítulo 2).²⁷ La vinculación con el proceso evolutivo tiene un argumento fuerte en Peirce, ya que si esta capacidad de adivinación o de conjeturar muy a menudo acertadamente, no fuera real, la humanidad se hubiese extinguido:

Es evidente, que si el hombre no poseyera una luz interior tendiente a conjeturar... demasiado a menudo acertadamente (por lo que no puede pensarse en el azar), hace tiempo que la raza humana habría sido extinguida de la faz de la tierra por su incapacidad en la lucha por la existencia (Peirce, Ms. 692, citado por Hynes, 2004) (subrayado propio: H.M.)

Los ingredientes señalados del instinto de adivinar o de adoptar una hipótesis: falta de fundamento, ubicuidad y fiabilidad, la enrolan dentro de lo instintivo, Peirce lo llama “instinto de la abducción”. Tal instinto es propio del ser humano, ya que no es del tipo “programa fijo” como el de los animales —que responde al ambiente fijo en el que éste se mueve— sino de “creación de programas” propio de un ser que no está adaptado a un ambiente sino abierto a múltiples posibilidades que le exigen ser creativo.

Esta ubicuidad de la abducción lleva a Castañares (1994) a afirmar que en los procesos de semiosis las inferencias deductivas se dan sólo en “casos de rigidez inusual” (p. 154), las inductivas “en casos en los que se aprende el significado de un signo por experiencias repetidas” (p. 154), siendo las inferencias abductivas las más frecuentes (cf. p. 154). Dice Peirce:

27. Sobre este tema quasi-esotérico sobre la adivinación remitimos para más detalles a Magnasco, 2024, Capítulo 8: *Epistemología de la metáfora*, subtítulo: *La adivinación como instinto creativo*.

[...] la inferencia abductiva se cambia gradualmente en juicio perceptivo sin que haya una clara línea de demarcación entre ambos, en otras palabras, nuestras primeras premisas, los juicios perceptivos, han de considerarse como un caso extremo de inferencias abductivas, de las que difieren por estar absolutamente al margen de toda crítica (Peirce citado por Eco & Sebeok, 1989, p. 39) (subrayado propio: H.M.)

Esto último está íntimamente vinculado a la formación dinámica de la cantera de analogías.

Sobre la descripción en categorías lógicas del razonamiento abductivo o de generación de hipótesis cf. *supra*: *Abducción de hipótesis y capacidad de acierto* en Capítulo 3. Allí hacíamos referencia a la capacidad estadística de acierto de las hipótesis, que tienen a la metáfora como integrante sustantivo. Recordemos la hiperbólica afirmación de Peirce:

Un físico en su laboratorio da con un fenómeno nuevo. ¿Cómo sabe que las conjunciones de los planetas no tienen nada que ver con ello, o que no es quizá porque la emperatriz viuda de China se le haya ocurrido por la misma época [...] pronunciar algunas palabras con poder místico, o porque se encuentra presente algún genio invisible? (Peirce citado por Samaja, 2004, p. 85)

Nosotros le responderíamos que la variable “emperatriz china” no forma parte de nuestra cantera de analogías que han tenido éxito... Continúa Peirce con su contundente argumento sobre la capacidad de acierto o adivinación:

Pensemos en los *trillones de trillones de hipótesis* que pueden hacerse de las cuales sólo una es la verdadera; y con todo el físico, después de dos o tres conjeturas o, todo lo más, de una docena da muy cerca de la hipótesis correcta. Por azar no lo

hubiera conseguido probablemente ni en todo el tiempo transcurrido desde que la tierra se solidificó [1988 (*El hombre, un signo*), pag. 137] (Peirce citado por Samaja, 2004, p. 85) (subrayado propio: H.M.)

Hemos reconstruido como ilustración del funcionamiento de la generación de hipótesis algunos razonamientos abductivos de los científicos, por ejemplo el de Faraday en *Construcción conjunta de sujeto y objeto* en Capítulo 3, que traemos aquí para comodidad del lector o lectora. Allí, para ilustrar el funcionamiento de este tipo de razonamiento, reconstruimos hipotéticamente el pensamiento de Faraday ante los hechos misteriosos en torno al imán. Este razonó diciendo: “este fenómeno sería comprensible si esas líneas fueran como líneas *de fuerza* o *hilos elásticos*”. En términos clásicos, ante ese RESULTADO que es el fenómeno,²⁸ el investigador postula que es un CASO de tal REGLA: eso que está visualizando (RESULTADO) es semejante (operación metafórica²⁹) a lo que sucede con los hilos elásticos (REGLA)³⁰, por lo que postula: “eso que veo es un CASO de esta REGLA”³¹ (lo cual es una hipótesis).

§. La metáfora que nace en la ciencia física ¿va de más a menos?

Hemos dicho que la metáfora nace en el vacío semántico y permite —a modo de instrumento— alcanzar el misterio de lo real. Es

28. Que está produciendo un “vacío hermenéutico” en tanto no se dispone aún de explicación.

29. La metáfora funciona en la entraña del razonamiento abductivo: provee la REGLA para que la abducción pueda funcionar.

30. Esta REGLA es obtenida desde la “cantera de analogías” del sujeto. Como hemos dicho, esta está integrada por esquemas (ni puramente teóricos, ni puramente empíricos) que se han ido decantando en la praxis del sujeto y que constituyen como órganos de asimilación (abductiva) de la realidad.

31. Las comillas no indican una cita literal, sino la conclusión de la reconstrucción hipotética del pensamiento de Faraday.

interesante el recurso que a ella hacen los hombres de ciencia, como testimonio de que la metáfora opera fuera del ámbito poético y que se orienta a la descripción de los intrincados fenómenos de la naturaleza.

Se suele decir que si bien la filosofía y la ciencia usan el lenguaje metafórico, es sólo en la poesía donde éste adquiere un grado que se podría llamar *constitutivo*... porque parecería que en la ciencia la metáfora es *usada* en un modo *suplente* mientras que —como dijo Ortega— “La poesía es hoy el álgebra superior de las metáforas” (Ortega y Gasset, 1925, p. 372). En poética —por lo que venimos diciendo— la metáfora apunta hacia un exceso, va *de menos a más*, invita a “ir más allá” (recordemos que hay una referencia “no directa” o diferida en donde se da la oportunidad de introducir ese plus de realidad que la metáfora produce); mientras que en la ciencia —se dice— la metáfora apunta hacia un defecto, va *de más a menos*, porque plantea cierta identidad (“Tierra-Luna”/“boleadora”, por ejemplo) para quedarse luego “con menos”, solamente con la porción “analogable”. Según Ortega y Gasset la metáfora usada en ciencia “va del más al menos” (Ortega y Gasset, 1985 [1925], p. 608; cf. Pérez Bernal, 2007, p. 202) en cuanto que la proyección de un dominio fuente (el de la honda o “boleadora”, por ejemplo) sobre otro meta (el sistema Tierra-Luna) es posible al captar una estructura común (o conjunto de elementos analogables) que pone entre paréntesis los rasgos que no se consideran básicos (hay una economía). Esta desconsideración de lo superfluo (proceso) se ve muy claro en el establecimiento de las analogías (resultado del proceso metafórico).

Debemos decir aquí que el hecho de inteligir, esto es, de alcanzar una interpretación o una inteligencia donde no la había, es una ganancia *quasi infinita*, un plus enorme. Así, “poner” la metáfora sobre el “vacío de interpretación” para “cubrirlo” (al menos inicialmente) no es ir “de más a menos” sino “de casi cero a algo distinto de cero”, aunque luego debamos decir, por ejemplo, el sistema Tierra-Luna *no* es una honda o “boleadora” (lo cual no significa ir “de más a menos”

sino dirigirnos hacia un *plus*, notar la dialéctica (diálogo) implicada en el proceso metafórico: proponer la imagen metafórica es una tesis (esto “es” como aquello), que es acompañada por la antítesis (en tanto niega lo anterior puesto que el mapa “no es” el territorio) y la síntesis (ni meramente “es” ni meramente “no es” sino que la dialéctica se sintetiza en un “es más” al aportar inteligibilidad) que cubre el vacío hermenéutico. Todo esto que decimos tiene que ver con la consideración del contexto de descubrimiento como una instancia donde la metáfora aporta una riqueza enorme que no puede quedar deslucida por un descartar aquello que no podemos identificar, por ejemplo: el sistema Tierra-Luna “no es una boleadora”, entonces “descartemos la metáfora”.³²

Quienes sostienen que la metáfora utilizada en ciencia va de “más a menos” lo hacen posicionados desde el *resultado* del proceso de conocimiento científico focalizando sólo en el contexto de justificación. En cambio, desde nuestra postura, la que entiende que con la metáfora vamos “de menos a más”, el “posicionamiento” es desde la “génesis” o *construcción* del conocimiento en el contexto de descubrimiento.

32. Una cosa es interpretar la metáfora, es decir, ir hacia su referencia y otra cosa es poner la metáfora, crearla para llenar un vacío; lo primero se da en quien lee un poema o un texto literario, lo segundo se da en la creación poética y en el llamado “contexto de descubrimiento”. Sostenemos desde esta investigación que no hay diferencia entre el trabajo del poeta y el del científico y que el ir “de más a menos” es una ilusión producida por un concepto de “verdad científica” entendida como representación mediante modelos lógico-matemáticos y constatable empíricamente a través de ellos.

Capítulo 11

MARCO METAFÍSICO DE LA CIENCIA CONTEMPORÁNEA: LA METÁFORA PLATÓNICA DEL ARTESANO LEÍDA POR HEISENBERG Y LA RELACIÓN MATEMÁTICA-MATERIA

*Cuando levantes la vista al cielo y fjes la mirada en la belleza de los astros,
reza al Dueño de lo que ves y adora a Dios, Artífice universal, que hizo todo
con sabiduría.*

Basilio de Cesarea, “Sobre la mártir Julita”

*Te doy las gracias a ti, Dios señor y creador nuestro, porque me dejas ver la
belleza de tu creación, y me regocijo con las obras de tus manos. Mira, ya he
concluido la obra a la que me sentí llamado; he cultivado el talento que Tú me
diste; he proclamado la magnificencia de tus obras a los hombres que lean estas
demostraciones, en la medida en que pudo abarcarla la limitación de mi espíritu.*

Johannes Kepler, “Armonías del Universo”

XLIII. LA METÁFORA DEL ARTESANO DIVINO

§. *Término a quo de la metáfora: la experiencia de un diseño inteligente*

La realidad natural y humana muchas veces ha sido interpretada focalizando en características¹ que concuerdan con un diseño inteligente, es decir, como si fuese resultado de la acción de alguien que opera en base a un plan. Claramente este es un traslado metafórico de dominio fuente antropológico. Surge así la metáfora del *dios artesano* o *alfarero* que diseña o modela —a semejanza del artesano o alfarero humano— realidades humanas y mundanas con eficacia y bondad.²

1. Esta focalización, quizás no sea arbitraria, pero claramente no es única. Es fruto —como hemos visto— de un razonamiento llamado por Charles Peirce “abductivo” o de *generación de hipótesis*. Es llamado también “retroducción” porque va de los efectos a la causa probable. Ante unos hechos que piden explicación —en el lenguaje clásico de los silogismos llamado RESULTADO—, se discernen características que corresponden a un esquema probable —que constituye la REGLA— que de ser cierto daría explicación lógica al RESULTADO, el cual se traduce entonces en el CASO de la mencionada REGLA. El esquema resumido de este razonamiento es RESULTADO + REGLA = CASO. Este es un razonamiento de gran fecundidad aunque débil lógicamente si se lo compara con la deducción (de esquema REGLA + CASO = RESULTADO) o con la inducción (RESULTADO + CASO = REGLA) (cf. para más detalles Magnasco, 2024, Capítulo 2: *La metáfora escondida en la lógica*. Subtítulo: *La influencia de las metáforas sobre los razonamientos clásicos* y Capítulo 4: *La metáfora que habla e importuna la lengua*. Subtítulo: *El vacío como primeridad. Análisis semiótico de la metáfora*).

2. Esto es así, si las características en las que se ha hecho foco (ver nota inmediata anterior) *habilitan* como hipótesis tal bondad. Esta metáfora cosmológica viene operando desde la antigüedad. Encontramos dioses artesanos-alfareros —que crean a la humanidad y su hábitat— en los textos sagrados de las primeras civilizaciones de Egipto y Mesopotamia (cf. Matthews & Benjamin, 2004,

Metáfora platónica del demiurgo-artesano en el Timeo

¿Platón en el SXXI?

Toda la historia de la filosofía —y quizá de todo el pensamiento occidental— es una serie de notas a pie de página de los Diálogos de Platón.
Alfred North Whitehead, “Process and Reality”

Creemos necesario enfatizar que recurrir en el SXXI a Platón no es ni ocioso, ni inútil, ni extemporáneo; por el contrario, grandes científicos físico-matemáticos como W. Heisenberg, R. Penrose, K. Gödel, A. Whitehead y S. Hawking entre otros, llegan a preguntarse ¿qué relación existe entre la naturaleza y la matemática? y ¿existe un responsable de tal relación? y —sabiendo que las preguntas trascienden su disciplina— apelan a las grandes respuestas que el mundo filosófico ha producido:

Heisenberg [uno de los padres de la física cuántica, cf. *supra* Capítulos 8 y 9] fue uno de los físicos de primera línea que, por serlo, por presión interna de su propia especialidad, han ido “más allá de la física”, han desbordado su propia ciencia y han rondado —y a veces traspasado— las fronteras internándose de la manera más natural y espontánea en la Filosofía. Fenómeno curioso observable en los científicos —y no sólo en los físicos— más eminentes. Quien lee los libros de Heisenberg se da perfecta cuenta de que es “un físico que filosofa”, un físico a quien las limitaciones objetivas y metódicas de su propia ciencia dejan

p. 31-40 y 52-57) como también en la tradición judeo-cristiana, donde se describe la operación del dios alfarero en el capítulo 2 del libro bíblico del Génesis.

insatisfecho y lanzan a “filosofar desde la física”³ (Pérez Fernández, 2022, p. 216) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

¿Cómo proceden los grandes científicos respecto de la filosofía? Comenta Pérez Fernández que hay dos posturas:

Podría el físico lanzarse a filosofar por propia cuenta intentando elaborar un sistema filosófico personal [...] o limitarse a echar una ojeada a los modos de pensar de los filósofos sobre la Naturaleza y a enjuiciarlos desde el punto de vista de la Física, decidiendo [...] cuál sintoniza con mayor perfección con el espíritu de ella, de modo que se pueda decir que viene a dar la clave *filosófica* de la solución de los problemas de ultra-fondo que su ciencia le plantea a él, no como físico sino como hombre, y le obliga a dar el salto de información al campo de la filosofía (p. 247)

Heisenberg en particular adopta esta segunda postura y es justamente en la filosofía tanto de Platón (como veremos en *infra*: *Heisenberg y el Timeo platónico*) como de Aristóteles (cf. *supra*: *Algunas aclaraciones aristotélicas de Heisenberg* en Capítulo 8) donde mejor se refleja la respuesta a sus inquietudes. Es consciente que la meta-interpretación o interpretación filosófica de la Naturaleza es la prolongación “meta-física” de la física cuántica. Esta última se relaciona con las posturas metafísicas o filosóficas sobre cómo “lo observado” se relaciona con “lo que es”, distinguiendo los planos respectivos “físico” y “metafísico”:

[Heisenberg] no corrió el riesgo de filosofar por propia cuenta [...] consciente al rojo vivo de que “lo observable” en la Naturaleza termina antes de que haya terminado “lo que es”, y de que “lo que

3. Pérez Fernández ofrece en este lugar un detallado listado de las obras físico-filosóficas de Heisenberg (cf. Pérez Fernández, 2022, p. 216, nota 1).

es” es un campo que ha proclamado la filosofía desde siempre como suyo (Pérez Fernández, 2022, p. 248) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Ya hemos mencionado que matemáticos contemporáneos como Roger Penrose y Kurt Gödel analizan epistemológicamente los fundamentos de la matemática y de la física expresable en términos matemáticos y encuentran en el mundo de las ideas de Platón una idea genial que permite “sacar” a la matemática del mundo limitado de las *mentes humanas* para “instalarla” objetivamente en la hiper-realidad del mundo matemático platónico (cf. *supra*: *La vinculación de los tres mundos de Roger Penrose* en Capítulo 7). Además Roger Penrose dice que la Física-Matemática, esto es el conocimiento de la naturaleza mediante expresiones matemáticas, quedaría sometida también a la limitación de las mentes humanas si no se le diera a la matemática una sólida fundamentación “extra-mental” que él encuentra en el mencionado mundo matemático de las ideas de Platón (Penrose, 1996).

Más adelante nos seguiremos ocupando de la influencia de Platón en los físicos y matemáticos de renombre (cf. *infra*: *La importancia de Platón en la matemática y la física contemporánea*).

El demiurgo-artesano de Platón

En el contexto filosófico aparece la metáfora del artesano en el *Timeo* de Platón: su demiurgo⁴ a modo de un artesano ordena el “material

4. En griego clásico, *demiurgo* significa (entre otras acepciones) trabajador, obrero manual, artesano, productor, creador y especialmente: Creador del Universo (cf. Pabón, 2001, p. 134). En el demiurgo platónico confluyen “la habilidad de un magistrado-artesano (*δημιουργός* [demiurgós]), la atracción de un artífice-poeta (*ποιητής* [poietés]) hacia la belleza, y la generosidad de un padre (*πατήρ* [patér]) que quiere que su hijo se le parezca.” (Zamora Calvo, 2010, p. 37, acaraciones entre corchetes propias: H.M.). Platón señala reiteradas veces la condición divina del demiurgo al llamarlo “Dios”, lo cual se condice con su ser Creador del Cosmos griego.

espacial caótico” (cf. Zamora Calvo, 2010, p. 51 y 53) mediante el modelo de “formas y números”⁵ (*Timeo* 53b) que el artesano contempla en el mundo de las ideas (mundo platónico perfecto que fundamenta la gnoseología y ontología platónicas y al que nos hemos referido aquí como fundamento de la matemática de los matemáticos profesionales). Retomando la tradición de los 4 elementos constitutivos (fuego, aire, agua y tierra), estos estaban en la situación de “ausencia de Dios” que en el *Timeo* es sinónimo de desorden y caos o bien de “azar puro” (Zamora Calvo, 2010, p. 33, nota 22):

Cuando Dios⁶ decidió ordenar el universo, el fuego, la tierra, el aire y el agua, llevaban ya señales de su propia naturaleza; pero estaban en la situación en que deben encontrarse las cosas, en que falta Dios, que comenzó por distinguirlas por medio de formas y de números. Dios sacó las cosas de la agitación y confusión en que estaban, y les dio la mayor belleza, la mayor perfección posible. (Platón, 1872, p. 199) (subrayado propio: H.M.)

El orden logrado por el demiurgo-artesano de Platón, no es perfecto, pero sí el mayor posible. El demiurgo no es todopoderoso, no ha podido “doblegar” del todo a las fuerzas caóticas previas a su operación y cuyos resabios siguen actuando en la realidad (cf. *infra*: *La física no es reducible a matemática* en Capítulo 12). La interpretación

5. Sobre la naturaleza de estas “formas y números” ver *infra*: *Ordenamiento según “formas y números”*.

6. Aquí al *demiurgo* Platón lo llama “Dios” (en griego: θεός [theós]). Cabe mencionar que en *Timeo*, Platón llama a su artesano “Dios” más veces que “demiurgo” (26 veces contra 5 [demiurgo en: 28a; 41a; 42e; 68e y 69c]). Cabe aclarar que hay otros entes considerados divinos producidos por el demiurgo (los astros, por ejemplo), debido a lo cual Platón lo llama “el dios primero [...] de los vivientes divinos [...] su demiurgo” (en 69c) y también (dada la condición de producidos de los dioses subalternos): “el dios que siempre es” (en 34a) (este breve análisis se realizó sobre la edición bilingüe de Zamora Calvo, 2010).

desde la metáfora del artesano es coherente con lo que a menudo sucede con el artesano humano, la idea que el artesano tiene en su mente, se plasma lo mejor posible de acuerdo a los materiales con los que trabaja, pero siempre estos tienen una imperfección que deja pequeños defectos en la obra, nunca la idea coincide exactamente con el producto logrado.

Ordenamiento según “formas y números”

Toda interpretación —como la metáfora empleada— no es inocente como ya hemos referido. Algunos interpretan —a favor de una matemática que sería el “lenguaje” que habla la naturaleza— que el ordenamiento del caos que realiza el demiurgo-artesano platónico es de tipo geométrico-matemático, es decir, la obra producida tendría no ya la mayor belleza *posible* sino la perfección de la ciencia matemático-geométrica. Estos interpretan que el modelo de “formas y números” (*Timeo* 53b) es de tipo “geométrico y aritmético”, pero un análisis más profundo en sintonía con el mundo de las ideas de Platón, revela que esas “formas y números” no se reducen a “formas *geométricas* y números *aritméticos*” ya que el binomio (“formas y números”) comprende también los ejemplares de la ética del obrar y la idea de justicia, cuyas copias jamás tienen en la vida terrena la perfección de su idea (cf. Windelband, 1953).

Tal interpretación geométrico-aritmética del *Timeo* se realiza apoyándose en otros textos platónicos, en especial el libro VI de la *República* que contiene la *Alegoría de la Línea dividida* leída en una especie de díptico con el libro VII —también de la *República*— que trae la *Alegoría de la caverna*. En estos textos Platón establece su teoría gnoseológica y ontológica sobre las ideas —perfectas y eternas— y la relación que estas guardan con lo sensible —que resulta siempre mutable e imperfecto—. Los partidarios de la entraña matemática de la realidad, interpretan que los “entes matemáticos” (una parte del mundo platónico) están ubicados en la *Alegoría de la Línea dividida* como esquemas “intermediarios” entre lo eterno-inteligible y lo

mudable-mundano puesto que lo “matemático” participa de las dos propiedades características de los extremos, por un lado los entes matemáticos son inmutables como las ideas superiores, por otro lado, los entes matemáticos son múltiples⁷ como lo es lo sensible inferior. Tales partidarios, entienden que los entes matemáticos y geométricos en su calidad de intermediarios entre lo inteligible y lo sensible, informan el “material espacial” de la realidad “penetrando” en esa realidad y dándole orden, proporción y consiguiente inteligibilidad.⁸

Ordenamiento deficiente

Nosotros hemos analizado la exégesis de tal alegoría siguiendo a Austin (1980) y a Ross (1993). Concluimos en base al análisis de los especialistas que no existe en los escritos de Platón una posición *ontológica* de la matemática como “intermediaria” (y clave de lectura o modelización) entre lo sensible y lo inteligible. La confusión proviene al mezclar la postura *ontológica* de Platón (donde los entes matemáticos no son intermediarios) con su postura *pedagógica*: para Platón la matemática es un escalón importante en la educación del filósofo en cuanto que le permite ejercitarse en la dialéctica que es el método que le permitirá “recordar” o acceder al mundo inteligible.

7. Por ejemplo, la idea de triángulo o *triangularidad* es única (como también lo es la idea de un triángulo *equilátero*, *isósceles* o *escaleno*), sin embargo, esta idea se multiplican en triángulos equiláteros, isósceles y escalenos de una gran multiplicidad de perímetros y variedades —en el caso de isósceles y escalenos— de posibles ángulos interiores.

8. En especial interpretan el pasaje de *Timeo* 50 c4 como si las “las cosas que penetran y salen del espacio” o del “receptáculo del devenir” (49a; 51a; 50b, d, e; 53a), fueran figuras geométricas perfectas. Hay que decir que “Las formas inteligibles no entran en el material-espacial (χώρα [Jóra]), ya que la forma inteligible ‘ni admite en sí nada proveniente de otra parte ni marcha ella misma hacia ninguna otra’ (52a)”. (Zamora Calvo, 2010, p. 36, aclaración entre corchetes y subrayado propios: H.M.).

La perfección querida por los que hipotetizan sobre la entraña matemática de la realidad, no se condice con el mundo sensible entendido según Platón como sólo una *imitación* devaluada y oscura del verdadero objeto de conocimiento que *está en otra parte* y a la que se accede por “reminiscencia”, es decir, por recuerdo en base al ejercicio de la dialéctica (cf. *República*). Es decir, la perfección sólo existe en el mundo de las ideas y lo sensible, si bien está ordenado por el demiurgo en base a “figuras y números” da como resultado *imitaciones*. Según el especialista Ross ni siquiera se puede decir que sean figuras, sino características o cualidades sensibles de todo tipo (cf. Ross, 1993, p.80).

Testimonio de Platón sobre la irrealidad de la matemática

Platón abonando la idea de la no consideración de los entes matemáticos como “intermedios” y clave de la lectura de la realidad, pregunta a sus interlocutores y futuros lectores (en *República* 526a1) sobre qué creen que responderían los matemáticos respecto de los entes matemáticos sobre los que discurren:

¿Qué números son esos sobre los que discurrís, en los que las unidades son tales como vosotros las suponéis, es decir, son iguales todas ellas entre sí, no difieren en lo más mínimo las unas de las otras y no contienen en sí ninguna parte? ¿Qué crees que responderían? Yo creo que dirían que hablan de cosas en las cuales no cabe más que pensar, sin que sea posible manejarlas de ningún otro modo (Platón citado por Ross, 1993, p. 80) (subrayado propio: H.M.)

Al responder Platón que los matemáticos hablan de cosas de las que no cabe *más que pensar*, plantea una postura que se condice con la no otorgación a los entes matemáticos de una posición de intermediarios —y por tanto de clave de la lectura de la realidad— a la vez que afirma al tratamiento mental de los entes

matemáticos (llamada por Platón *dianoia*) como ejercicio de desarrollo de un *pensamiento crítico* que debe aspirar a la dialéctica del filósofo (aquí encontramos la postura pedagógica de Platón: la matemática o ejercicio de la *dianoia* como preparación para el ejercicio de la dialéctica).

§. La importancia de Platón en la matemática y la física contemporánea

¿El fundamento del número y de la física matemática?

Ya hemos mencionado reiteradamente que el nombre de Platón es muy importante en el mundo de los matemáticos profesionales (cf. *supra*: *Relación matemática-física* y *La vinculación de los tres mundos de Roger Penrose* en Capítulo 7 y *¿Platón en el SXXI?* en este capítulo), pues el mundo eidético platónico⁹ que fundamenta la realidad —según ellos— contiene la realidad objetiva de las matemáticas. Hemos visto que los especialistas en Platón no encuentran a la matemática como una realidad objetiva (cf. *supra*: *Ordenamiento deficiente* y *Testimonio de Platón sobre la irrealidad de la matemática*).

Este mundo platónico surge como una hipótesis sobre el conocimiento científico¹⁰ que es probada verosímilmente por Platón en el

9. Este mundo platónico fundamenta el conocimiento verdadero. ¿Qué es un conocimiento verdadero? Aquel que se nos presenta como fundamentado con el rigor de la matemática y por tanto inamovible. Para Platón la matemática no se identifica ni agota en el mundo de las ideas, pero es un excelente ejemplo para comprender como su racionalidad y verdad es la que debe buscarse en los ámbitos naturales, sociales, políticos y antropológicos.

10. No hay nada en el universo que sea inmutable ¿cómo es entonces que logramos conocimientos inmutables sobre las cosas y hechos como lo son los de tipo matemático? Platón entiende que nuestra alma estuvo alguna vez en aquel mundo ideal y que al encarnarse lo olvidó, pero puede —mediante preguntas y guías adecuados (mayéutica socrática)— recordarlo y lograr conocimiento ver-

Timeo.¹¹ Este mundo es una hiper-realidad en el que se encuentran los modelos eternos y perfectos de todas las cosas y hechos, para los matemáticos una parte de este mundo contendría a los entes matemáticos. Es importante destacar que la matemática es para Platón más bien un entrenamiento pedagógico, una instancia que “entrena” para ascender a las ideas más políticas, sociales y antropológicas como la de justicia.¹² Por ello la matemática (Aritmética, Geometría, Astronomía y Música) es muy importante en la academia de Platón, tanto que se dice que en el frontispicio se leía “Que no entre quien no sepa geometría” (Takahashi, 2006, p. 101). Pero de nuevo, la matemática para Platón no era una entidad ontológica intermediaria sino un *entrenamiento pedagógico* del pensamiento (cf. Austin, 1980 y Ross, 1993), ya que el verdadero objeto del conocimiento eran las ideas superiores como la justicia, el bien y la virtud, fundamentales para el buen ejercicio de la ciudadanía.

dadero; así, conocer científicamente es recordar. Esta teoría se conoce como Teoría de la reminiscencia (*anámnesis*). Es desarrollada por Platón en el Menón donde tal personaje pregunta: “Me puedes decir, Sócrates: ¿es enseñable la virtud?, ¿o no es enseñable, sino que sólo se alcanza con la práctica?, ¿o ni se alcanza con la práctica ni puede aprenderse, sino que se da en los hombres naturalmente o de algún otro modo?” (70a) (Platón, 1992, p. 283). Esta pregunta da a Sócrates la oportunidad de ir llevando al lector mayéuticamente a descubrir que un concepto como el de “virtud” es algo que no se aprende sino que se recuerda, se despierta en el alma y se fundamenta en el mundo de las ideas.

11. En el diálogo Sócrates prueba la teoría de la reminiscencia planteándole a un esclavo que no sabía geometría un problema geométrico (82b-85b), guiándolo mediante preguntas (*mayéutica*) logra que el esclavo resuelva el problema dando a luz conocimientos que estaban en él como en estado de latencia, es decir de olvido.

12. Según Restrepo este mundo comprende formas o ideas pertenecientes a cuatro grupos: “Al primer grupo pertenecen la semejanza, la desemejanza, la unidad, la pluralidad, el movimiento, el reposo y el número. El segundo grupo está formado por las formas morales (Bello, Bueno, Justo). El grupo tres comprende las Formas de la artesanía divina (Hombre, Fuego, Agua). El grupo cuarto comprende las Formas indignas o bajas (pelo, barro, suciedad)...” (Restrepo, 1992, p. 127-128).

Heisenberg y el Timeo platónico

Constitución material: no corpuscular sino matemática

Muchos adherentes a la entraña numérica de la realidad se entusiasman con este diálogo del *Timeo*, sobre todo por su filosofía de la materia. W. Heisenberg sostenía que el *Timeo* de Platón (a quien leyó de muy joven) realizaba un tratamiento sobre la constitución matemática de la materia que coincidía con lo que él mismo encontraba en sus estudios (Heisenberg introduce en Física atómica, el complicado método matemático llamado “álgebra matricial”). Esto es, la constitución última de la materia no es “corpuscular” sino matemática o puramente formal.

Esto es, en el origen de la materia no hay partículas sino matemática (que es el fundamento de las partículas): “las partículas elementales ‘representan simples manifestaciones de la estructura matemática fundamental..., el contenido de la ley fundamental de la Naturaleza’ (Heisenberg, W., La ley natural y estructura de la materia, en *Más allá de la física*, p. 182)” (citado por Pérez Fernández, 2022, p. 251, subrayado nuestro: H.M.). Vale más “frente a la tesis democrítea: ‘Al principio era el átomo’, la tesis platónica: ‘Al principio era la forma, la simetría’” (p. 254).

Filosofía de la materia de Platón

Es una genialidad del pensamiento filosófico de Platón el que haya entendido que la constitución última de la materia no puede ser *materia* o corpúsculos *materiales*. La constitución última —según el *Timeo*— son triángulos perfectos inmateriales.¹³ Referimos más arriba como el demiurgo ordena un material previo en base a formas y números, tal material previo lleva algunos rasgos del fuego, el aire,

13. Triángulos que forman a su vez las caras de los 4 sólidos platónicos que se asocian a los 4 constituyentes clásicos del fuego, el aire, el agua y la tierra.

la tierra y el agua, pero como le “falta dios”,¹⁴ está en un estado de caos. Timeo razona sobre la ordenación requerida, él contempla lo perfecto en el mundo de las ideas y tiene en mente los sólidos regulares platónicos, 4 de los cuales serán el modelo del fuego, el aire, la tierra y el agua. A su vez estos sólidos tienen sus caras planas, regulares e inateriales constituidas por triángulos perfectos:

Por lo pronto, el fuego, el aire, la tierra y el agua son cuerpos; esto es evidente para todo el mundo. Todo lo que tiene la esencia del cuerpo, tiene igualmente profundidad. Todo lo que tiene profundidad, contiene necesariamente en sí la naturaleza de lo plano. Una base, cuya superficie es perfectamente plana, se compone de triángulos. Todos los triángulos proceden de dos triángulos solamente; cada uno de los cuales tiene un ángulo recto y los otros dos agudos.¹⁵ Uno de estos triángulos tiene de cada lado una parte igual de un ángulo recto, dividido por lados iguales¹⁶; el otro, dos partes desiguales de un ángulo recto, dividido por lados desiguales¹⁷. He aquí el origen que asignamos al fuego y a los otros tres cuerpos; quiero decir, lo verosímil con algo de certidumbre. En cuanto a los principios superiores, que son los de los triángulos, Dios los conoce, y un pequeño número de hombres amados por los dioses¹⁸ (Platón, 1872, p. 200) (notas al pie propias: H.M.)

14. Recordemos que según Platón estos materiales previos “estaban en la situación en que deben encontrarse las cosas, en que falta Dios” (Platón, 1872, p. 199), esto es, situación de desorden como hemos visto (cf. *supra*: *El demiurgo-artesano de Platón*). La ausencia de Dios se traduce así en un “material espacial caótico” (cf. Zamora Calvo, 2010, p. 51 y 53).

15. Por consiguiente, estos dos triángulos irreducibles, principio de todos los demás, son dos triángulos rectángulos.

16. Es el triángulo rectángulo isósceles.

17. Es el triángulo rectángulo escaleno.

18. Los triángulos isósceles y escalenos son los principios geométricos de los cuatro cuerpos elementales; pero por cima de los principios geométricos hay los

La interpretación de los especialistas es que los “números” que el demiurgo contempla y en base a los que ordena, no son números *aritméticos* sino “números” *místicos*, sólo conocidos por Dios y por un pequeño grupo de hombres “amados por los dioses”, en alusión a los pitagóricos. Giordano Bruno (1548-1600) captaba que la matemática entrañada en la realidad no era la matemática que los matemáticos tienen en sus mentes y los físicos expresan en formulaciones matemáticas, sino una *matemática mística*. La concepción sobre la matemática depende de la postura filosófica (cf. *infra*: *Metáfora de la emanación y dos matemáticas* en Capítulo 12), G. Bruno dice del número: “que es tomado por el aritmético pura y simplemente, por el músico armónicamente, simbólicamente por el cabalista, y en otras formas diversas por otros locos y otros sabios” (Bruno, 2018, Epístola Proemial).

Más allá de esta última observación, el modelo que usa el demiurgo es geométrico y “numérico” por lo que el modelo que está en la base de la realidad no está integrado por partículas sino por formas geométricas y “matemática”. Esto cautivó a W. Heisenberg, que también encontraba *matemática* (su compleja álgebra matricial) y no partículas *materiales* en la constitución de la materia. Dice sobre este aspecto Pérez Fernández:

En conclusión: la Física atómica actual asegura que los llamados “entes científicos” (átomos y partículas sub-atómicas), que a los ojos de la Física clásica tenían valor de “entes naturales” que constituían el ser, la esencia o naturaleza de la materia, no son en realidad “entes físicos” sino “entes matemáticos” que la investigación física construye mentalmente como objetos-soportes con que legitimar la objetividad de la observación científica llegada a su límite (Pérez Fernández, 2022, p. 229) (subrayado propio: H.M.)

principios numéricos, los números, conocidos sólo por Dios y por los pitagóricos.

Y el mismo Heisenberg expresa respecto de la filosofía de Platón haciendo foco en su teoría del mundo de las ideas:

Cuando Platón —dice después— se ocupó de los problemas planteados por Leucipo y Demócrito, aceptó el concepto de partículas últimas de la materia, pero se opuso con energía a la tendencia que aquella filosofía sentía de considerar a los átomos como fundamento de todo lo existente, como únicos objetos materiales realmente existentes. Los átomos, según Platón, no eran propiamente materia, eran considerados como formas geométricas, como los cuerpos regulares de los matemáticos. En consecuencia con el punto de partida de su filosofía idealista, estos cuerpos eran en cierto modo las ideas, que sirven de fundamento a la estructura de la materia y caracterizan el comportamiento físico de los elementos que a ellas corresponden (Heisenberg, W., *Ley natural y estructura de la materia*, en *Más allá de la física*, p. 170) (citado por Pérez Fernández, 2022, p. 234) (subrayado propio: H.M.).

Dice Heisenberg, respecto del Timeo platónico, que la posición de Platón referida a la constitución de la materia, está mucho más cerca de la física contemporánea que la de los atomistas (los que entienden que todo está formado por corpúsculos materiales), en tanto Timeo (Platón) entiende que el fundamento de la entraña material es la simetría matemática:

Puede decirse ya que aquí [en punto a la ley fundamental de la Naturaleza, todavía no expresada en fórmula matemática definitiva] la respuesta definitiva estará más próxima a la concepción filosófica tal como fue expuesta en el Timeo, de Platón, que a la de los antiguos materialistas... Las partículas elementales de la física actual se encuentran mucho más emparentadas con los cuerpos platónicos que con los

átomos de Demócrito... Están determinadas, como tales cuerpos regulares de la filosofía platónica, por exigencias de simetría matemática. No son [[las partículas elementales]] eternas e inalterables y apenas corresponden, por consiguiente, a lo que se podría designar, en sentido propio, como real [= como cuerpos en pequeño]. Más bien representan simples manifestaciones de la estructura matemática fundamental a la cual se llega si se pretende dividir la materia [= los cuerpos o sustancias materiales] siempre más allá, y que justamente forman el contenido de la ley fundamental de la naturaleza. Por consiguiente, para la moderna ciencia natural, en el principio se encuentra no la cosa material [= el cuerpo que se divide] sino la forma, la simetría matemática”, es decir, “el sentido” (Heisenberg, W., El descubrimiento de Planck y los problemas filosóficos de la física atómica, en *El hombre y el átomo*, p. 99) (citado por Pérez Fernández, 2022, p. 233-234) (aclaraciones entre corchetes de Pérez Fernández) (aclaraciones entre corchetes dobles y subrayado propios: H.M.)

Así, *Timeo* establece que los principios “anteúltimos”¹⁹ de lo visible o lo espacial o lo material son unos inmateriales triángulos rectángulos (combinaciones de uno escaleno y otro isósceles, como vimos). *Poner* matemática inmaterial en el seno último de la constitución de la materia es algo que hizo genial y “precursoramente” Platón en el *Timeo* y sorprendió a Heisenberg.

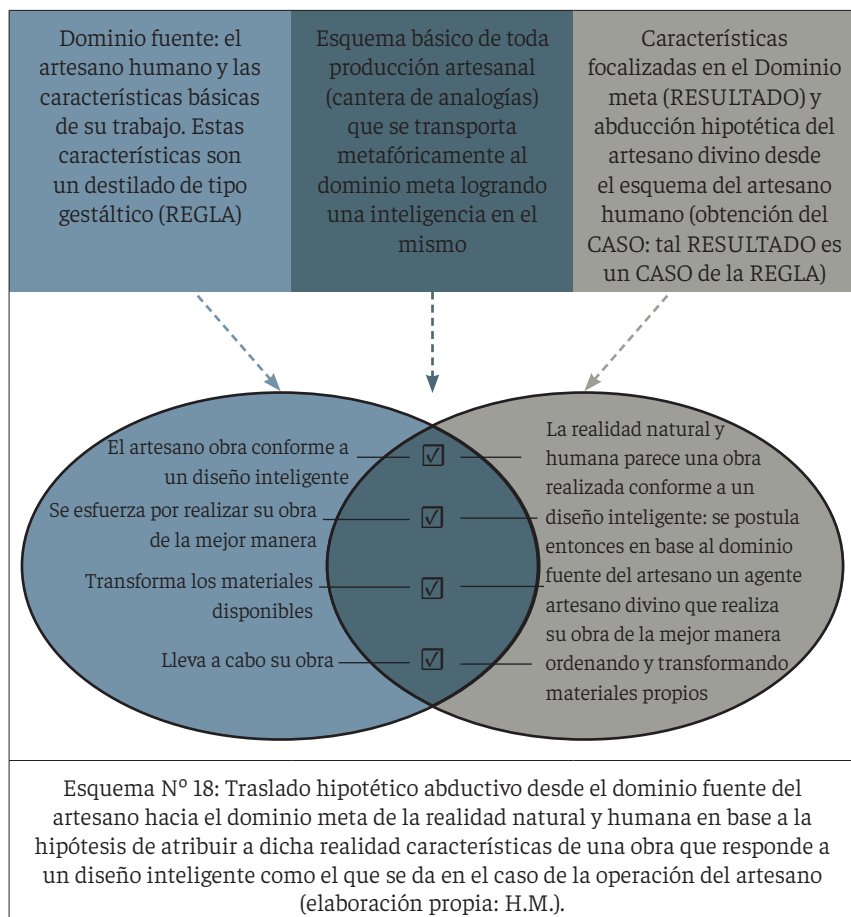
19. Calificamos de “anteúltimos” a estos principios de lo visible pues para Platón, esos principios no se “encarnan” en la materia manteniendo su perfección (cf. *supra* cita de Ross, 1993, p.80) es decir no los vamos a encontrar *en* lo sensible (diseccionando y disecando lo sensible).

Pero Platón en *Timeo* se cuidó de reducir la física a matemática al no considerar entes matemáticos como entidades ontológicas intermediarias entre lo inteligible y lo físico y al no considerar al “material espacial” con el que trabaja el demiurgo artesano como configurable matemáticamente de manera perfecta como veremos (cf. *infra*: *La física no es reducible a matemática* en Capítulo 12).

En el Anexo 4 el lector o lectora puede encontrar algunas filosofías de la materia no newtonianas muy importantes en los orígenes de la ciencia moderna, en tanto que eliminan las partículas materiales en la entraña de la materia sintonizando con las posturas no newtonianas del *Timeo* platónico y de Heisenberg.

§. *Abducción del artesano divino: esquematismo*

Ofrecemos a continuación un esquema de la metáfora basado en diagramas de Venn-Euler, haciendo foco en el proceso lógico (en tanto “lógica mayor”, cf. *supra*: *Lógico vs. razonable o lógica menor vs. lógica mayor* en Capítulo 2) que conforma metafóricamente el “sentido” del “cosmos”:



¿Heisenberg abduce a Dios como artífice?

Respecto del demiurgo, Heisenberg es reservado, pero puede sorprender el siguiente testimonio del genial científico sobre el “Dios matemático”:

Si queremos acercarnos al “uno” [= al principio unitario que rige el transcurso del mundo, buscado por los antiguos] con los conceptos de un lenguaje científico preciso, debemos tener presente

el centro de las ciencias naturales descrito por Platón, en el que se hallan las simetrías fundamentales matemáticas. En el modo de pensar de este lenguaje es necesario aceptar la afirmación “Dios es matemático”, pues voluntariamente se ha restringido la mirada sobre el área del ser que puede ser comprendido en el sentido matemático del verbo “comprender” y que puede describirse racionalmente (Heisenberg, W. Ley natural y estructura de la materia, en *Más allá de la física*. p. 187 Cf. p. 176) (Heisenberg citado por Pérez Fernández, 2022, p. 253-254)

Capítulo 12

LAS METÁFORAS DEL DIOS CONSTRUCTOR DE MÁQUINAS Y DE LA EMANACIÓN: DOS MATEMÁTICAS Y LA REVISIÓN DE LA RELACIÓN MATERIA-ESPACIO-TIEMPO

La mayoría de los científicos han estado tan ocupados con el desarrollo de nuevas teorías que describen lo que es el universo que no se han planteado la cuestión de por qué existe ¿Necesita un creador? Si descubrimos una teoría completa sería el triunfo definitivo de la razón humana, pues entonces conoceríamos la mente de Dios.

Stephen Hawking, “La teoría del todo. El origen y el destino del universo”

XLIV. LA VERSIÓN MODERNA DE LA METÁFORA DEL ARTESANO

En el capítulo anterior analizamos la influencia de la metáfora del artesano —tal como la presenta el *Timeo* de Platón— en la física y la matemática del S. XX, analizando qué relación se plantea entre la realidad y su probable entraña matemática inmaterial. En el presente capítulo analizaremos una versión moderna de la metáfora que es la del constructor de máquinas medieval-renacentista (cf. Prigogine & Stengers, 2004, p. 77). En esta metáfora el cosmos se presenta no ya como fruto de la acción de un “artesano” sino como construcción de un “ingeniero” que deja la huella de la proporción matemática en su constructo. Esta metáfora influye en Descartes, Bacon, Galileo y Newton (cf. Descartes, 2011, Bacon, 2011 [1620], p. 63; Galilei, 1864 [1623]; Newton, 1982, p. 617ss). Dando fuerza a la posibilidad de que el número “ideal” se “encarne” en la realidad estableceremos históricamente la influencia de la teología cristiana en tal encarnación (cf. Kojève, 1964).

Galileo y Newton han interpretado que el orden matemático de la realidad posee una perfección que proviene de la acción de un agente todopoderoso (concordando con el creador que crea desde la nada o *ex-nihilo* del libro bíblico de Génesis 1).¹ Así como el ingeniero constructor de máquinas aplica su arte matemático para la construcción de su artefacto (que queda matematizado a través de

1. Hemos mencionado que en el contexto bíblico, aparece el dios alfarero en el capítulo 2 del Génesis. Debemos aclarar que la creación aparece dos veces: en Génesis 1 dios crea mediante la palabra (dios dijo *hágase* y se hizo) y en un contexto inicialmente acuoso (*un espíritu de dios se cernía sobre las aguas*), en Génesis 2 el contexto es inicialmente desértico y dios se presenta como ese alfarero mencionado. Galileo y Newton piensan en un dios todopoderoso capaz de crear de la nada y en un dios matemático que ha dejado la matemática impresa en su obra.

la proporción y la geometría), el Dios creador² del mundo a modo de un ingeniero, ha dejado también la matemática impresa en su obra. Esto es evidente para Newton, en el Escolio General de sus *Principios matemáticos de la Filosofía Natural* el científico constata un orden y precisión matemáticos y geométricos en la naturaleza (cf. Newton, 1982, p. 618) al que ya hemos hecho referencia (en *supra*: *La matemática de la mente divina* en Capítulo 7). Por lo que concluye que tal orden matemático-geométrico sólo puede ser obra de un ente inteligente y poderoso, dueño del universo, dios supremo (cf. Newton, 1982, p. 619-620).

Por lo tanto tal postura moderna tiene fe en que la naturaleza, la materia y sus fenómenos son inscribibles en esos caracteres o “geometrizable” (Descartes, Galilei, Newton): “La geometrización de la materia es tanto como elevar a inteligible y en consecuencia accesible a nuestra razón el mundo fenoménico material. Este proyecto es iniciado por Descartes” (Gómez, 1979, p. 71), y consumado por Newton en sus *Principios matemáticos de la Filosofía Natural* (Newton, 1982).

Colegimos que en el fondo de esta concepción matemática de la realidad han operado metáforas que si bien hoy han sido olvidadas por la mayoría, no dejan de ser un componente para algunos mítico y desechable (p. e. en Pierre Simón Laplace³) para otros metafísico-teológico y necesario (p. e. Isaac Newton⁴) y para otros epistemológico (p. e. en Roger Penrose⁵). Hemos dicho que toda metáfora

2. Hipótesis teológica a que adhirieron Johannes Kepler, René Descartes, Francis Bacon, Galileo Galilei e Isaac Newton entre los científicos conocidos, como hemos referenciado en su lugar.

3. El matemático Pierre-Simon Laplace diferenciándose de Newton dijo no necesitar la hipótesis de un Dios “Creador” para explicar la perfección del movimiento celeste (cf. Dahan Dalmedico, 2006).

4. Como las metáforas del “dios ingeniero” (cf. *infra*: *Génesis del dios ingeniero*) y de las “emanaciones” (cf. *infra*: *Metáfora de la emanación en Newton*).

5. Recordar la metáfora del “mundo platónico matemático” y sus implicancias (cf. *supra*: *La vinculación de los tres mundos de Roger Penrose* en Capítulo 7).

—indispensable para conceptualizar— revela y oculta, permite ver y enceguece, abre mundos y cierra mundos, activa marcos conceptuales y oculta otros.

§. *Reducción de la física a la matemática*

La lectura moderna de la metáfora del artesano produce interesadamente una *reducción de la física a la matemática*, pues aspira a una objetividad en donde la realidad es expresada por medio de juicios analíticos,⁶ en una estructura axiomático-deductiva,⁷ en la concreción de un lenguaje cuyos caracteres son matemáticos. En la entraña de esta concepción del conocimiento de lo real como expresable o reducible a términos matemáticos “inmutables y verdaderos”, está la interpretación de los entes matemáticos como “realidades intermedias” o “intermediarios” entre lo sensible y lo inteligible del texto platónico de la Alegoría de la Línea (Libro VI de la *República*), como hemos referido (cf. *supra*: *Ordenamiento según “formas y números”* en Capítulo 11).

Génesis del dios ingeniero

La convicción de que dios es un matemático, es el último eslabón de una cadena de traslados metafóricos que resumiremos a continuación. Dichos traslados conducen a dos posturas enfrentadas

6. En los juicios analíticos el concepto del predicado está contenido en el concepto del sujeto. La reconstrucción y reorganización racional del proceso científico termina muchas veces teniendo éxito con un producido tan claro teóricamente en la descripción de la vida interna del objeto que “es posible que al observador le parezca estar ante una situación apriorística” (K. Marx citado por Samaja, 2004, p. 29).

7. Piaget observa que en ciencia hay *un interés* por la axiomatización, y dice respecto de la actividad de los científicos en las ciencias de la naturaleza que ésta se produce “como si el físico se esforzara, con sentimiento de culpabilidad, en esconder lo que se debe a la experimentación (empírica) y en hacer creer con una cierta hipocresía que todo lo ha deducido [1979, 125-126]” (citado por Samaja, 2004, p. 30).

sobre la naturaleza de la matemática: la de Giordano Bruno y la de Galileo Galilei que es la que prevalece.

Según los matemáticos historiadores, la matemática desde antiguo fue un reducto esquemático o “alfabeto” constituido por “número, medida y orden [...] que permitía reducir la multiplicidad a unidad” (Rey Pastor y Babini, 1985, p. 1 y 13). Nosotros preferimos ser menos optimistas y hablar de una *mathesis*⁸ (cf. Bruno, 2015, p. VII; cf. *infra*: *Metáfora de la emanación en G. Bruno: mathesis analógica* en este capítulo y también: *Relación metáfora y matemática* en Capítulo 14), es decir, de “algunos esquemas” estilizados que han tenido éxito en el dominio o convivencia diaria y se han guardado en una cantera de analogías mental. Esta incipiente matemática terrena (o esquemas cognoscitivos que vencen el desorden) se traslada temprana y metafóricamente al cielo que parece ser un ámbito donde los astros reflejan sus estables, regulares y esquemáticos rasgos. A tal conexión celeste se le va asociando cierta dimensión divina: “Los conocimientos del cielo y de los movimientos de los astros alcanzaban en Sumer el grado de ciencias exactas, y en ellos se fundaban para la confección del calendario y la división y medida del tiempo” (Ceram, 1975, p. 286). Estas observaciones eran realizadas por los sacerdotes babilónicos desde las torres templo *zigurats* (componente divino) en donde “calculaban los movimientos del planeta Mercurio con más exactitud que Hiparco y Ptolomeo, logrando incluso determinar el tiempo del recorrido de la Luna con una diferencia de 0,4 segundos sobre la cifra dada por nuestros astrónomos [década de 1950]” (Ceram, 1975, p. 286) (aclaración entre corchetes propia: H.M.).⁹

8. Según Pabón (2001, p. 375) *mathesis* significa “la acción de conocer”, que nosotros hemos asociado a la operación metafórica.

9. La arqueología de Egipto y Babilonia muestran desarrollos matemáticos aplicados a la vida diaria y a la astrología (fuertemente implicada con la vida diaria), desde el tercer milenio a.C. (cf. Eliade, 1999, p. 95-96; Ceram, 1975, p. 286-288; Nápoles Valdés, 2009, p. 27-28).

Según Platón y Aristóteles las entidades de la bóveda celeste son inmateriales y semidivinas y sus movimientos se producen según figuras geométricas perfectas circulares y con movimiento uniforme, así se establece un dualismo entre el “mundo sublunar” y el “mundo supralunar” divinizado.

El advertir —por parte de la razón filosófica— que si bien no existe en el mundo sublunar una circunferencia perfecta, el hecho de concebirla como idea indica que la misma *debe existir* como arquetipo de todas las circunferencias imperfectas (cf. teoría de la reminiscencia, en el *Fedón* [73a] de Platón). Tales razonamientos, conducen a la gnoseología platónica a establecer una relación o proporción entre el conocimiento de las realidades mundanas y el “mundo de las ideas” que es una “hiper-realidad” que da fundamento, proporción, orden y armonía al cosmos (cf. Hirschberger, 1997, p. 50-51 y las obras de Platón: *República*, [514a-517a] y *Timeo*, [34b-36d]).

Tal mundo de las ideas es —según Platón en el *Timeo*— “formas y números” (*Timeo*, 53b) y el ejemplar que —en tanto fundamento— nunca es alcanzado plenamente por las realidades humanas y terrenas (que son sus copias degradadas). El aspecto lógico de los contenidos y conexiones lógicas de las ideas es su *logos* (recta razón, argumento, inteligencia, ley, cf. Pabón, 2001, p. 371) que adquiere —por lo dicho— cierta dimensión matemática. Pero contrariamente a lo que pensará luego Galileo, las “formas y números” que dan fundamento al conocimiento de lo real no se reducen a “formas geométricas y números aritméticos” ya que el binomio comprende también los ejemplares de la ética del obrar y la idea de justicia,¹⁰ cuyas copias jamás tienen en la vida terrena la perfección de su idea (cf. Windelband, 1953, p. 221) (como tampoco ninguna circunferencia terrena tiene la perfección de su idea).

El obispo y teólogo cristiano conocido como San Agustín traslada el mundo de las ideas platónico a la mente del Dios judeo-cristiano

10. Es decir, el *logos* no es reducible a un *logos* de tipo matemático.

(cf. Hirschberger, 1997, p. 300). Así el *logos* es el pensamiento de Dios, que en tanto Creador (según los libros bíblicos) deja en su obra de la creación reflejos de su *logos*.

En esta línea y a fines del medioevo se realiza otro traslado metafórico más físico desde la imagen del constructor de máquinas o ingeniero medieval renacentista (cf. Prigogine y Stengers, 2004, p. 71): el Dios creador ha dejado como un constructor o artista su huella mental o su *logos* en su obra. Notar que aquí el *logos* se inclina hacia una *versión matemática*, debido al influjo mecanicista del constructor o ingeniero de máquinas. Si bien la matemática existe en el mundo de las ideas platónico, el mismo no se reduce a matemática.

En los albores de la modernidad otro sacerdote y teólogo cristiano Giordano Bruno —considerado el mayor filósofo del Renacimiento (cf. Vassallo, *Prólogo* a Bruno, 2018)— entiende que no puede haber dualismo entre el misterioso y divino mundo supralunar aristotélico y el sublunar, es más, no puede haber dualismo entre Dios y el mundo (panteísmo). Por eso, desde la metáfora de la emanación de Plotino (presente en *Enéadas*) piensa metafóricamente que el mundo emana de Dios como el agua de una fuente y por ello Dios —y su *logos* matemático— está presente en todas las cosas como el “alma del mundo” (Bruno, 2018, p. 50) (Newton utilizará luego esta metáfora de la emanación, ver *infra*: *Metáfora de la emanación en Newton*).

Es fundamental destacar —para diferenciar con la postura de Galilei— que el *logos* inmanente para G. Bruno no se identifica con la matemática pura (Bruno, 2018, Epístola Proemial), por lo que no puede haber una explicación matemática exhaustiva de la realidad natural (cf. Bruno, 2015, p. 108; 120 y ss.), “porque una cosa es jugar con la geometría y otra verificar con la naturaleza” (Bruno, 2015, p. 155). Unos años más tarde Spinoza coincide con Bruno en que Dios es inherente e inmanente a todas las cosas, y lo identifica con la ley matemática que las define y establece (cf. Armstrong, 1995, p. 361).

Por su parte, en R. Descartes (cf. Descartes, 2011, p. 129-140) y F. Bacon (2011) encontramos la metáfora del Dios creador visto como un constructor de máquinas que ha dejado las huellas de su ingenio en su obra. Galileo y Newton (cf. Newton, 1982, p. 617ss) —convencidos en el mismo sentido— buscan los caracteres claros y distintos de la matemática en la realidad que el Dios matemático ha producido e intentan contribuir así a la depuración del cristianismo suprimiendo los misterios que en él aún perviven (cf. Cassirer, 1993, p. 59; Armstrong, 1995, p. 351).

Newton reduce a Dios a su sistema mecánico (Newton, 2006, p. 5-7) y elimina el misterioso y divino mundo supralunar; la revolución copernicana y la doctrina cristiana de la encarnación del *logos* contribuyen a uniformizar los dos mundos en uno (Kojève, 1964).

Galileo como G. Bruno rompe el dualismo supralunar-sublunar pero opta por una uniformización que haga posible el tratamiento exhaustivo por la matemática, “una matemática que ya no es pitagórica, es decir, simbólica y analógica en sentido moral, religioso y místico, como todavía lo es la *mathesis* bruniana del *De monade, numero et figura*, sino sencillamente matemática” (Granada, *Introducción a Bruno*, 2015, p. VII). Así la realidad termina siendo —en su esencia— matemática, es como un libro escrito en caracteres matemáticos “puros” (cf. Galilei, 1981, p. 63).

XIV. METÁFORA DE LA EMANACIÓN Y DOS MATEMÁTICAS

Una variante importante a la hipótesis sobre el origen de la realidad natural y humana la tenemos desde otra metáfora, la de la emanación: la realidad brota de la divinidad inteligente y buena como el agua desde una fuente o la luz desde un foco. Esta metáfora de Plotino (*Enéadas*) influye en el Renacimiento y en los albores de la Modernidad en Giordano Bruno y luego en Newton. La misma es la base para comprender dos tipos de matemática que se encontrarían en la entraña de la realidad universal dándole sustento racional. La versión de Giordano Bruno da lugar a una matemática provista de “razones vivas” (Bruno, 2015, p. 39 y 41), una mathesis que fluye sin solución de continuidad por todo el *árbol de la ciencia* (cf. *supra*: Figura N° 28 en Capítulo 7) dando sustancia a la metafísica (*raíz* del árbol), a la física (su *tronco*) y a la mecánica, la medicina y la moral (los *frutos* en la copa). La versión de Newton se queda con sólo un aspecto del *árbol de la ciencia*: la mecánica (*de la copa*), dando lugar a una matemática inerte reducida a geometría y aritmética. Bruno entendía que “la riqueza de lo real rebasa la capacidad de análisis de la matemática [...] y que] la uniformización geometricista de la naturaleza introducida por Galileo [y Newton], al reducir el mundo a cantidad, número y figura, eliminaba la diferencia entre matemática y física, rompiendo [...] con todo el pensamiento tradicional” (Granada en Bruno, 2015, p. 35, aclaraciones entre corchetes propia: H.M.).

§. Metáfora de la emanación en G. Bruno: mathesis analógica

La matemática de Bruno se califica de “analógica”, pues es un razonamiento por analogía (resultado de un mecanismo metafórico) el que le da sustento. Así como el número *uno* es fundamento de la

aritmética y el *punto* el fundamento de la geometría (cf. Bruno, 2018, p. 145-147) Bruno razonando por analogía (cf. Bruno, 2018, p. 110 y 147) se remonta al fundamento *simple* (semejante al *uno* o el *punto*) de toda la realidad: “Por eso, la semejanza y la analogía aritméticas son más adecuadas [...] para guiarnos, a través de la multiplicidad, a la contemplación y aprehensión de aquel principio indivisible” (Bruno, 2018, p. 147) que es *fuentes y artesano* del todo.

Para Bruno el principio indivisible del que mana el universo es como un artesano que se hace interior a su obra: la mantiene viva, fecunda, productiva.

Este filósofo entiende que la divinidad es el Uno, que está presente en todo como su fundamento matemático. En *De la causa, principio y uno* (Bruno, 2018) refiere que la presencia del Uno se da como *intelecto* que se desborda o despliega desde el interior. Utiliza varias metáforas concurrentes sobre la presencia del Uno, es *luz* que ilumina desde dentro, *motor* que mueve desde dentro, *forjador* que forja desde dentro. En el primer paso de su despliegue el Uno genera la materia a la que se une en mezcla indivisible y en su despliegue manifiesta que su unidad monádica no sólo da lugar a la armonía de la amistad sino también la discordia:

El intelecto universal es la más íntima, real y propia facultad y eficacia del alma del mundo. Uno e idéntico, lo llena todo, ilumina el Universo y determina la naturaleza a producir sus especies según conviene [...] Los pitagóricos lo llaman “motor” y “agitador” del Universo [...] Los platónicos lo llaman “forjador del mundo” [*demiurgo*¹¹] [...] este forjador descende del mundo superior, que es absolutamente uno, a este mundo sensible que

11. Es necesario aclarar que el demiurgo platónico no es interior a su obra: “el demiurgo platónico es una divinidad de un tipo especial: tras haber fabricado el universo, lo abandona y se retira (Tim. 42e). Ningún dios permanece presente en el cosmos. El hombre se queda sólo en un mundo en que la intervención divina solo se manifiesta en el ámbito del orden matemático.” (Zamora Calvo, 2010, p. 40).

está fragmentado en una multiplicidad; por lo que en él reina, no solamente la amistad, sino también, en razón de la distancia y separación de sus partes, la discordia. (Bruno, 2018, p. 65) (aclaración entre corchetes y nota al pie propios: H.M.)

Otras metáforas que utiliza Bruno para expresar la realidad de la emanación y divinización, son las del *sembrador* que siembra desde dentro, *ojo del mundo* que ve desde dentro, *padre* inmediato dispensador de formas y *artífice* interno que da forma a la materia desde dentro de la misma (el Uno no es exterior a la materia, sino que es íntimo a la materia universal configurándola desde dentro):

Este intelecto, infundiendo y alojando algo de suyo en la materia, estando él quieto e inmóvil, todo lo produce. Es llamado por los magos [...] “sembrador”, porque él es quien impregna la materia de todas sus formas [...] Orfeo lo llama “ojo del mundo”, porque ve por dentro y por fuera todas las cosas naturales, para que todo pueda tanto intrínseca como extrínsecamente ser producido y mantenido en su adecuada proporción [...] Plotino lo llama “padre” y “progenitor”, porque desparrama las semillas en el campo de la naturaleza, y es el inmediato dispensador de las formas. Nosotros lo llamamos “artífice interno”, porque da forma a la materia configurándola desde dentro (Bruno, 2018, p. 65)

Por todo lo dicho se colige que este “Uno matemático” de Bruno no es un “Uno aritmético”, es decir, su *matemática* entraña un misticismo, un dinamismo inteligente interno, que se aleja de la aritmética y geometría de la matemática “inerte” de Galileo y Newton.¹²

12. Recordemos que hemos dicho (cf. *supra*: *Generación del sistema metafórico de conceptualización* [de Newton] en Capítulo 4) que para Newton el universo es completamente pasivo, es decir, su movimiento requiere de un “empujón inicial”. Así, no sólo necesita a Dios como fundamento de la perfección matemática (cf. *supra*: *La matemática de la mente divina* en Capítulo 7) sino que también necesita a

Una matemática que describa lo físico y también lo humano

Antecedentes platónicos

En el caso de Platón, el artesano permanece exterior a su obra (cf. Zamora Calvo, 2010, p. 40), pero anima a la misma con el “alma del mundo”,¹³ esto es, el *demiurgo* produce un *principio* del movimiento y producción que convierte a la obra del Cosmos en algo vivo, en un “animal racional” (lejos estamos de la obra mecánica del constructor de máquinas medieval renacentista que cautiva a Galilei y a Newton).

Tanto en Bruno como en Platón, el alma racional de este animal que es el mundo (metáfora orgánica) supera a lo lógico-matemático, está constituida *de modo musical*... Porque ¿qué tipo de matemática—en tanto *mathesis*, como instrumento para conocer la realidad—exigiría esta metáfora del animal racional? El desarrollo matemático que *Timeo* dice está inscrito “verosímilmente pero sin excluir posibles errores”¹⁴ en la entraña de lo real, se basa en proporciones

Dios para poner en movimiento o dar el impulso inicial a todo el sistema celeste (cf. Armstrong, 1995, p. 351). Newton se cuida de que dios no sea confundido con una especie de “alma del mundo”, por eso aclara: “Este rige todas las cosas, no como alma del mundo, sino como dueño de los universos. Y debido a esa dominación suele llamársele señor dios, *παντοκράτωρ* [pantokrátor] o amo universal (Newton, 1982, p. 620, aclaración entre corchetes propia: H.M.).

13. La construcción del “alma del mundo” por parte del *demiurgo* la encontramos en el *Timeo* de Platón [*Timeo* 34b-c; 35a-b-c; 36a-b-c-d-e; 37a].

14. En todo el discurso platónico de *Timeo* se mantiene una propuesta de verosimilitud pero no de “verdad absoluta”. Platón aclara que su personaje Timeo al exponer sobre la *producción del Cosmos* se propone discurrir de modo *verosímil*: “Ahora, escuchad lo que me propongo hacer. No intentaré exponeros la causa o causas y las razones, cualesquiera que ellas sean, de todo lo que existe [...] [sino] opiniones verosímiles” (Platón, 1872, p. 193, aclaración entre corchetes propia: H.M.); Timeo se esfuerza por ofrecer “lo verosímil con algo de certidumbre” (Platón, 1872, p. 200), porque “Cuando se trata de las cosas celestes y divinas, basta que se hable de ellas con alguna verosimilitud” (Platón, 1872, p. 271).

musicales,¹⁵ para marcar un “orden” —armonioso— en “formas y números” que no son “formas *geométricas* y números *aritméticos*” expresados en frías ecuaciones algebraicas. El orden demiúrgico se basa en la teoría musical (cf. Platón, 1872, p. 172ss), en una “matemática musical” que da vida al “alma del mundo” y entra en sintonía con el alma del hombre. La emoción y *motivación*¹⁶ que las bellas proporciones matemáticas de la armonía musical producen en el corazón del ser humano son argumentos a favor de una constitución matemática del alma humana como creían los pitagóricos pero muy distinta a la constitución matemática que supone la física moderna de Galilei y Newton. La sintonía entre música, armonía musical y la concomitante emoción humana que hace “vibrar” el alma se traslada metafóricamente al alma del mundo: ella —verosímilmente— es musical.

El alma del mundo, en su inteligibilidad es matemática pero no se trata de la matemática que puede ser extraída o encontrada hoy en la materia inerte y sus fenómenos, sino una matemática armoniosa y musical que da vida a este animal racional que es el mundo —abarcando no sólo el ámbito físico (como hoy lo consideramos) sino también el ámbito humano, en sus dimensiones social, política, ética y espiritual—.

No debe perderse de vista que si bien el objeto del *Timeo* es el universo al que “estudia sucesivamente bajo el punto de vista de la inteligencia que le ha formado, de la materia de que ha sido hecho, y de los seres que comprende” (De Azcárate, 1872, p. 143), en él Platón describe extensamente al hombre pues en el contexto

15. El alma del mundo es producida por el *demiurgo* de modo de dejar en su constitución proporciones armoniosas que, en nuestro lenguaje musical, comprenden 4 octavas completas (DO-RE-MI-FA-SOL-LA-SI-[DO]) sucesivas, más una fracción de 5ª Octava (DO-RE-MI-FA-SOL-LA) (cf. *Timeo* 34b-c; 35a-b-c; 36a-b-c-d-e; 37a).

16. Escribimos *motivación* en cursivas porque cobra en este ámbito gran importancia al hacer referencia a una animación, a una estimulación que es capaz de poner en movimiento tanto lo físico como lo anímico.

de su obra el *Timeo* es “una transición de la *República* al *Critias*, y se propone principalmente, remontándose al origen del mundo, explicar también el origen de la especie humana” (p. 143-144, aclaraciones entre corchetes propia: H.M.). Debemos tener muy presente que el *Timeo* es una de las obras más complejas de Platón al abarcar armoniosamente —musicalmente— el mundo natural, antropológico, social, político y espiritual.

La versión bruniana

La matemática de Bruno es pitagórica, simbólica y analógica, en sentido moral, religioso y místico: “El número es tomado por el aritmético puro y simplemente, por el músico armónicamente, simbólicamente por el cabalista, y en otras formas diversas por otros locos y otros sabios” (Bruno, 2018, p. 20).

Tal entraña racional, aún suponiendo que se “encarnara” manteniendo su perfección (cosa que hemos visto no sucede en Platón) supera a la matemática aritmético-algebraico-geométrica que posee los fines mecánicos de Galileo y Newton (la supera como un organismo supera a una máquina¹⁷).

En el caso de Bruno, la imagen sobre la entraña divina de lo real que puede sintetizarse en “el TODO está en TODO”, supera a la matemática: decir que esa entraña es matemática contradice la riqueza vital de lo real “porque una cosa es jugar con la geometría y otra verificar con la naturaleza” (Bruno, 2015, p. 155).

17. Supera las intenciones de este libro el filosofar sobre el “tipo” de matemática que se ha impuesto en Occidente, sólo retengamos que Galileo y Bruno encarnan matemáticas diferentes. Galileo como G. Bruno rompe el dualismo supralunar-sublunar pero opta por una uniformización que haga posible el tratamiento exhaustivo por la matemática, “una matemática que ya no es pitagórica, es decir, simbólica y analógica en sentido moral, religioso y místico, como todavía lo es la *mathesis* bruniana del *De monade, numero et figura*, sino sencillamente matemática” (Bruno, 2015, p. VII). Así la realidad termina siendo —en su esencia— matemática, es como un libro escrito en caracteres matemáticos “puros” (Galilei, 1981).

En su dimensión emanativa, la filosofía de Bruno “sostiene la idea de una transformación perpetua, de un descenso de los seres desde la unidad [el Uno], por un lado, y un ascenso hacia ella, por el otro. Esta idea ya está presente en la primera de sus obras filosóficas, *De Umbris Idearum* (1682)” (Whittaker, 1884, p. 246, traducción y aclaración entre corchetes propios: H.M.). Señala Whittaker la distinción de Bruno respecto de la metáfora de la emanación neoplatónica:

La influencia del platonismo es evidente en el título: “De las sombras de las ideas”. Pero Bruno distingue su propia doctrina de la transformación de la doctrina de la emanación enseñada por los neoplatónicos. Sostiene que así como hay un paso continuo de la luz a la oscuridad por el cual los seres superiores se vuelven inferiores, también hay un paso continuo en la dirección opuesta por el cual los seres más bajos pueden regresar gradualmente al estado más elevado (p. 246) (traducción propia: H.M.)

La metáfora de la emanación sirve de soporte a la gnoseología y ontología:

La luz es aquí el símbolo de la región de las ideas, de la unidad absoluta que es la única que verdaderamente existe. La oscuridad es simplemente la negación de la luz; es el símbolo de la no existencia. Las “Sombras de las Ideas” son cosas de la naturaleza y pensamientos de la mente. Participan de la naturaleza de la luz y de las tinieblas. (p. 246-247) (traducción propia: H.M.)

Finalmente, Bruno destaca el fin que posee intelecto y lo endeble de su conquista:

El fin que el intelecto debe proponerse es el ascenso a la región de las Ideas, al conocimiento de lo Uno en contraposición a lo Múltiple, de lo permanente en contraposición a las formas

que cambian. La visión de la unidad absoluta debe describirse como un estado, no como un proceso. Dado que la mente humana está continuamente perturbada por los sentidos y la imaginación, este estado no puede durar mucho tiempo y, por lo tanto, se habla de él en tiempo pasado más que en tiempo presente. (Whittaker, 1884, p. 247) (traducción propia: H.M.)

§. Metáfora de la emanación en Newton: espacio euclidiano absoluto homogéneo

En una fusión de ambas metáforas (artesano y emanación), para Newton el tiempo, el espacio y la materia emanan de Dios como de una fuente. Como Descartes y Galileo, Newton entiende que la naturaleza está matematizada porque ha salido de la mente de Dios que la ha producido (cf. Newton, 1982, p.617ss; cf. Galilei, 1864 [1623]). Pero la idea de creación no es tomada desde la operación de un ser trascendente que crea y permanece distinto de su creación, sino que (en sintonía implícita con G. Bruno y B. Spinoza¹⁸) la entiende desde la metáfora de la emanación plotiniana.

Newton intentó explicar el universo físico, “considerando a Dios como una parte esencial de este sistema. En la física de Newton la naturaleza era completamente pasiva: Dios era la única fuente de actividad” (Armstrong, 1995, p. 351). Así, Dios le era necesario para dar el impulso inicial y poner todo el cosmos en movimiento. Pero dentro de un espacio infinito se preguntaba: “¿Dónde encajaba Dios dentro de él? ¿No era el mismo espacio en cierto modo divino y no poseía, como Dios, los atributos de eternidad e infinitud?” (Armstrong, 1995, p. 353). Aquí hay un vacío hermenéutico que es llenado por la vía metafórica. La solución la dio nuevamente la metáfora de la emanación plotiniana ya que la materia es el efecto emanante de Dios:

18. Unos años más tarde que Bruno, Spinoza coincide con Bruno en que Dios es inherente e inmanente a todas las cosas, y lo identifica con la ley matemática que las define y establece (Armstrong, 1995).

“De extensione [...] tanquam Dei effectus emanativus” (Newton, 2006, p. 5), el espacio también es un efecto que emana del ente primero: “Spatium sit entis primario existentis effectus emanativus” (Newton, 2006, p. 7), y se afirman similitudes sobre la duración: “Deque Duratione similia possunt affirmari” (Newton, 2006, p. 7). Así, de Dios emanan la materia, el espacio, el tiempo y las leyes que informan la naturaleza, lo cual ubica al sabio inglés en una postura panteísta (Armstrong, 1995).

Veremos que el espacio absoluto y homogéneo da lugar a una geometría de tipo euclidiana y el Dios que da el impulso inicial a la conservación del momento lineal y angular (cf. *infra*: *Isotropía del espacio newtoniano y ley de inercia*).

XLVI. RELACIÓN MATERIA-ESPACIO-TIEMPO

§. *Newton: las consecuencias de un espacio absoluto y homogéneo*

La metáfora de la emanación, tan útil a Newton, tiene tres consecuencias fundamentales:

- Permite comprender la ley de la inversa del cuadrado (metáfora de la dilución).
- Permite comprender el Principio de inercia o Primera Ley del Movimiento de Newton,¹⁹ que reza: todo cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que un agente externo lo fuerce a salir de ese *estado*. La misma formulación recién refrescada, permite deducir la Segunda Ley del Movimiento que se refiere a la alteración de ese *estado* de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme. Esta ley establece que la fuerza es lo que produce la alteración del momento de un cuerpo o un corpúsculo y resulta “proporcional a la fuerza aplicada (el momento de un corpúsculo es el producto de la masa por su velocidad)” (Berkson, 1981, p. 40).
- Asume que la materia (corpúsculos materiales en la metafísica de Newton²⁰) y el espacio (“vacío” en la metafísica de Newton) no interaccionan entre sí.

19. Que es uno de los *Elementos* de su concepción euclidiana de la realidad sintetizada en *Principia*, cf. *supra*: *Metáfora de la estructura euclidiana* en Capítulo 4.

20. Respecto de la concepción newtoniana “metafísica” del cosmos, es la que se desprende de *Principia*, y es la que los seguidores de Newton le adjudicaban a principios del SXIX, esta es “semejante a la teoría de Demócrito: el mundo está constituido por ‘corpúsculos’ sólidos, extensos, y por espacio vacío. Sin embargo, hay una tercera entidad, la fuerza. Cada corpúsculo posee la propiedad de ‘actuar a distancia’ y ejercer fuerzas directa e instantáneamente sobre otros cuerpos del universo. Newton no presentó en sus escritos una teoría completamente acabada

Espacio homogéneo y la ley de la inversa del cuadrado

Un espacio homogéneo, supone que es “igual” en “todos lados”, que no hay —por ejemplo— distorsiones cuando un rayo de luz lo atraviesa o un móvil lo recorre ¿qué sería una distorsión? En el caso de un rayo de luz una perturbación sería interponerle una lente convergente o divergente, es decir, en el espacio vacío homogéneo no habría efectos de concentración o divergencia de rayos. Lo mismo un móvil moviéndose en un espacio homogéneo no tendría “trayectorias preferenciales”. Puede sorprender que Galileo Galilei llegara a pensar que el espacio no fuera homogéneo, esto es, que presentaría direcciones preferenciales que encauzarían el movimiento de los móviles (cf. Anexo 2):

Aunque Galileo tenía alguna idea sobre la inercia, creía “natural” suponer que si un cuerpo daba vueltas sobre una superficie sin rozamiento continuaría describiendo círculos alrededor de la tierra, de la misma forma que parecía natural que la tierra continuara en círculo alrededor del sol, el supuesto centro del universo. Para Galileo, los planetas y el sol seguían direcciones privilegiadas en el espacio (Berkson, 1981, p. 41-42)

Berkson propone —sin hablar de metáforas— la metáfora de la dilución (que vimos en *supra*: Capítulo 4) para mostrar la pertinencia de la ley de la inversa del cuadrado en la teoría newtoniana de la gravitación:

La ley del inverso del cuadrado de la distancia está en perfecta consonancia con la metafísica de Newton porque tiene interpretación geométrica y parece seguirse del carácter mismo

y exenta de ambigüedades.” (Berkson, 1981, p. 39) (cf. *infra*: Anexo 4: *Leibniz, Bosovich y Faraday: el paso de las partículas físico-materiales newtonianas a los puntos metafísicos inmateriales*).

del espacio. Me explico. Imaginemos una fuente luminosa de intensidad constante, o una fuente de la que brota agua en todas las direcciones, o una fuente de calor en un sólido uniforme.

Imagínense dos esferas, una mayor que otra, concéntricas con la fuente. La luz, el agua y el calor se difundirán, como se sigue de la geometría de las esferas, con intensidad decreciente según la ley del inverso del cuadrado de la distancia (Berkson, 1981, p. 40) (subrayado propio: H.M.)

Es decir, de un espacio homogéneo se sigue que la dilución de la gravedad con la inversa del cuadrado es entendible desde la dilución de la luz, de la dilución de la velocidad del agua o de la temperatura con la ley de la inversa del cuadrado.

Notar que aquí funcionan varias metáforas encubiertas, en tanto que las propiedades geométricas del espacio se transfieren (*metaféro*) a la materia (agua) y a la radiación (luz) y a la transferencia de energía (“calórica”, cuya manifestación es la temperatura —la cual es la energía cinética promedio de las moléculas—).

A su vez, esta propiedad del espacio es transferida a la gravedad. Todo esto nos lleva a colegir que en todos estos casos las propiedades del espacio son transferidas —*metaféro*— a la materia.

Traslado de las propiedades del espacio a la materia

Así, volviendo a la lectura moderna de la metáfora del alfarero —la metáfora del constructor de máquinas— si lo pensamos filosóficamente, la posibilidad de matematización y consecuente inteligibilización de la materia, está asumiendo una identificación espacio-materia, que se vuelven de algún modo intercambiables en cuanto a las propiedades geométricas. Esto último que parecería “lógico” no lo es para pensadores de la estatura de Platón o Einstein como veremos. Recordemos que tradicionalmente y desde la metáfora del recipiente o contenedor el *espacio* es el *lugar* en el que se inscribe la “geometría *del* espacio” euclidiano.

Así como el espacio admite una geometrización, lo mismo sucede con lo material que es un *contenido* que lo tiene por *recipiente*. Notemos aquí que la metáfora del *espacio* como un *recipiente continente* permite trasladar a sus contenidos su propia geometría: así es posible “geometrizar” la materia.

Notemos que se trata de un espacio absoluto, homogéneo, isótropo, que presenta las mismas propiedades en cualquier dirección, no hay direcciones preferenciales que faciliten o impidan el movimiento... En otras palabras, es un espacio que no presenta interacciones con la materia. Esta última constatación puede resultar trivial, pero— como adelantamos— no se trata de algo obvio ni para Platón ni para Einstein²¹ (cf. *infra*: *Platón y Einstein: sintonías desde el concepto platónico de Jóra*).

Isotropía del espacio newtoniano y ley de inercia

Otra consecuencia de la idea de un espacio homogéneo e isótropo es la pertinencia de las 1ª y 2ª leyes de Newton sobre el movimiento, a la vez que —como Newton establece en su metafísica—, la fuerza que actúa entre partículas es central, es decir obra en la dirección que une los centros de las mismas:

Al igual que en la ley del inverso del cuadrado, la plausibilidad de la ley de la inercia y de la idea de que todas las fuerzas son centrales proviene de la hipótesis de que el espacio es homogéneo e isótropo (todas las direcciones son equivalentes)
(Berkson, 1981, p. 41)

Berkson propone una hipótesis sobre la conservación del momento lineal (este *momento* es para Newton sinónimo de *movimiento* y es igual al producto de la masa de la partícula por su velocidad),

21. Albert Einstein romperá la idea de un espacio absoluto como “recipiente” en el que se mueven los cuerpos: la materia deforma el espacio circundante (cf. geometrodinámica en *infra*: *Platón y Einstein: sintonías desde el concepto platónico de Jóra*).

hipótesis que cualquier estudiante de física de primer año conoce como una “Ley de conservación” y que en realidad incluye en su formulación el Principio de inercia: si el momento lineal se conserva, esto se traduce en que una partícula *conservará su estado* de reposo o de movimiento rectilíneo (Ley de Inercia) hasta tanto una fuerza externa lo altere (alteración que será proporcional a esta fuerza, lo cual entronca con la Segunda Ley del movimiento): “Para abogar por la ley de la inercia se hace necesario establecer la hipótesis previa de que el movimiento y el reposo son clases de *estados*, es decir situaciones que mantienen su identidad a través del tiempo” (Berkson, 1981, p. 41).

¿De dónde sale la Ley de conservación del momento lineal (y también agregamos del momento angular)? De una metáfora teológica, recordemos que para Newton Dios es necesario para —además de producir la emanación del espacio, el tiempo y la materia— dar el impulso inicial y poner todo el cosmos en movimiento (cf. Armstrong, 1995, p. 351). Luego de este impulso inicial Dios “se retira” como agente y el impulso se conserva, es decir, el impulso debe bastar para mantener todo en funcionamiento sin necesidad de intervenciones adicionales. El mismo razonamiento lleva Descartes:

La ley fundamental del sistema de Descartes es la conservación del movimiento. Dios infundió al Universo cierta cantidad de movimiento, que continua inalterado. Para Descartes “movimiento” es momento ($m \cdot v$), prescindiendo del carácter direccional de la velocidad. Puede haber transferencia de movimiento entre partículas que chocan, pero nunca puede ser creado ni destruido (Berkson, 1981, p. 44)

Una vez postulada la conservación del momento lineal Berkson propone experimentos mentales para marcar la pertinencia de las leyes del movimiento referidas:

Partiendo de esta hipótesis, se podría argumentar que si un cuerpo está en estado de reposo, permanece así a menos que una causa exterior le ponga en movimiento; parecería irracional que el cuerpo empezara de pronto a moverse por sí mismo. De la misma forma, cuando un cuerpo está en estado de movimiento permanecerá en este estado de movimiento sin cambios de velocidad ni dirección excepto si está bajo la acción de alguna fuerza exterior. ¿Por qué iba a disminuir la velocidad y no aumentar? ¿Por qué iba a girar hacia la izquierda y no hacia la derecha? Cualquier otro supuesto que no sea el de la conservación del estado de movimiento es totalmente arbitrario en un espacio uniforme y vacío (Berkson, 1981, p. 41)

Respecto de la 2ª Ley comenta Berkson: “Si se acepta con Newton (y Descartes) que el momento es una magnitud fundamental que ha de conservarse, parece natural que la fuerza, como causa de los cambios, produzca una variación en el momento igual a su intensidad” (Berkson, 1981, p. 42).

§. *Avance del mito platónico sobre la relación espacio-materia*

Platón no piensa la formación del universo como algo que la divinidad o el artesano ejecuta en un espacio-escenario dado de antemano como lo piensa Newton. Newton identifica espacio y materia en tanto geometrizables pero desde la idea de un espacio absoluto que contiene entidades que comparten con la espacialidad la misma matemática.

Contrariamente en el *Timeo* de Platón, materia y espacio se identifican, pero no por compartir propiedades geométricas análogas sino por ser un binomio asociado a todo lo que es mudable, sensible, es decir a todo lo que no es idea pura del mundo de las ideas.

Como vimos en el capítulo anterior, el demiurgo platónico —al modo de un artesano— teniendo como modelo el mundo de las ideas, ordena —configurándolo “con formas y números” según *Timeo* 53b— un *material-espacial* (notar *ahora* el binomio) caótico precósmico dando *lugar* al mundo de lo sensible que es una copia de aquel. Tal binomio es expresado en griego con una sola palabra: *jóra* (χώρα).²² La *jóra* tiene entonces dos dimensiones inseparables: lo espacial y lo material.

Como hemos dicho, toda metáfora por un lado revela y oculta,²³ enmarca dando lugar a toda una serie de asociaciones. La metáfora del artesano que produce el universo puede activar un marco conceptual en donde el demiurgo trabaja sus materiales en el seno de un espacio pasivo como lugar de trabajo (separando el binomio materia-espacio o *jóra*). Pero la lectura atenta del *Timeo* se aleja de tal concepción. Al contrario, el espacio toma parte activa junto con la materia —de ahí que sean un auténtico binomio inseparable— en la génesis de lo sensible:

en este diálogo Platón nos presenta una cosmogonía en la que el espacio deja de ser considerado un ámbito pasivo de lo material [como un mero lugar o escenario] para entrar a formar parte de su propia génesis. El espacio en Platón actuara como receptáculo “chora”²⁴ activo y maternal del mundo fenoménico y en este sentido se inicia la posibilidad de la identificación de ambas categorías (Gómez, 1979, p. 72) (aclaración entre corchetes y nota al pie propias: H. M.)

22. Como ya hemos visto en una nota en *supra*: *Ordenamiento según “formas y números”* en Capítulo 11. La palabra griega *jóra* (χώρα) es traducida frecuentemente como *lugar*, *emplazamiento* o *espacio* (Pabón, 2001, p. 649), veremos que este lugar o emplazamiento no es pasivo sino activo.

23. Recordemos el ejemplo en torno a la conceptualización de una *discusión*, que puede activar dos marcos encontrados: “una discusión es una guerra” o “una discusión es una construcción”. (cf. *supra*: Capítulo 1).

24. La palabra griega es χώρα, transliterada como *jóra* y a veces por razones idiomáticas como “chora”.

Es decir, no tenemos tres elementos: artesano, modelo y materia, actuando en un espacio-lugar-escenario-pasivo, sino cuatro elementos que son el artesano, el modelo y el binomio materia-espacio, es decir el espacio toma parte en la generación de lo sensible.

Hemos anotado que *Jóra* suele ser traducida como lugar, emplazamiento o espacio (Pabón, 2001, p. 649), pero tal emplazamiento, lugar o espacio no es pasivo, no es cualquiera (indiferente o el mismo para todas las cosas), sino que es un lugar activo en tanto es el “lugar propio” de la cosa. En este *lugar propio la cosa ejerce su función propia y conserva su naturaleza*: “la *χώρα* [*jóra*] designa el sitio que posee cada cosa sensible para definirla, cuando ejerce en él su función, y conserva en él su naturaleza. Se trata, por tanto, del sitio que la define [en este sentido es un emplazamiento activo]” (Zamora Calvo, 2010, p. 51; aclaración entre corchetes propia: H.M.). Una metáfora aclara el concepto de la *jóra*: “Del mismo modo que una ciudad posee un territorio, un espacio geopolítico que la define, cada cuerpo posee también un sitio propio que lo define cuando ejerce en él la función asignada según su naturaleza” (p. 51). La *jóra* tiene una dimensión espacial que se relaciona con el lugar donde aparece lo sensible y otra dimensión que se relaciona con el material que constituye lo sensible, por eso hablamos de un binomio:

Para referirse a la *χώρα* [*jóra*] Platón emplea un doble juego de metáforas, donde confluyen tanto lo que Brisson denomina el aspecto “espacial”, es decir, “aquello en lo que” la cosa sensible se encuentra (...), como su aspecto “constitutivo”, “aquello de lo que” está hecha (p. 52) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Estos dos aspectos enlazan espacio y materia en un binomio, aclarando Zamora Calvo que “aquello de lo que” se conforman es “el material que constituye y modela las imágenes” (Zamora Calvo, 2010, p. 53, subrayado propio: H.M.). El aspecto de “lugar propio” es aludido mediante las metáforas del “receptáculo” (49a; 51a; 50b,

d, e; 53a;) y de la “sede” (52b). El aspecto activo de la *jóra* está dado por la metáfora de la “nodriza” (49a; 52d; 88), de la “madre” (50d; 51a) y del padre-artesano: “De este modo, compara la *χώρα* [*jóra*] con la ‘matriz de improntas’ (...), o los ‘excipientes’ (...) relacionados con la técnica de los perfumistas, de los orfebres o de los alfareros” (p. 52) (aclaración entre corchetes propia: H.M.).

La *jóra* es sede y es constitutiva de lo sensible, Zamora Calvo también la caracteriza como “materia espacial” (p. 51 y 53). En su aspecto de sede y madre, las cosas sensibles y mutables nacen “entrando” en ella y mueren “saliendo” de ella: “Por otra parte, se diferencia también de las cosas sensibles, engendradas y sujetas a un movimiento continuo que, al entrar en un lugar, nacen y salen de él al morir, siendo solo captables por la sensación” (Zamora Calvo, 2010, p. 52).

XLVII. LA FÍSICA NO ES REDUCIBLE A MATEMÁTICA

§. *El poder de la metáfora platónica*

Este binomio materia-espacio (*jóra*) podría ser considerado racional y geométrico, puesto que es conformado a imagen de un modelo racional que es sintéticamente “formas y números”. Pero este no es el camino del *Timeo*:

[...] la posición de Platón en su *Timeo* es en este sentido opuesta y declaradamente irracionalista. En Platón el mundo físico no puede nunca ser totalmente racionalizado o hecho inteligible, la inteligibilidad perfecta reside sólo en las formas. El mundo sensible participa de las formas mediante una misteriosa relación de semejanza, ahora bien el mundo sensible no es una simple imagen debilitada del mundo ideal de las formas puras, contiene elementos nuevos, aspectos básicamente irracionales, movimientos, fuerzas, cambios que como señalan Grote y Cornford [Cornford, *Plato's Cosmology*] hay que entenderlos en el sentido negativo de no ser regulares ni predecibles (Gómez, 1979, p. 72) (aclaración entre corchetes y subrayado propios: H. M.)

Esto es totalmente lógico; que el demiurgo tenga a la vista —como modelo— el mundo perfecto no quiere decir que transfiera esa misma perfección a las cosas del mundo sensible. Según Cornford (1997) el universo es formado por una combinación de razón y “necesidad” (*ἀνάγκη*, *anánke*),²⁵ entendiendo por esta última una total irracionalidad:

25. “No debemos, observa [Taylor], confundir la *ἀνάγκη* [*Anánke*] de Platón con la ‘necesidad científica’ o ‘el reino de la ley’, ya que se la llama expresamente la causa ‘divagante’, ‘sin objetivo’ o ‘irresponsable’ [...] Así, no son lo ‘necesario’ sino lo ‘contingente’, las cosas para las cuales no vemos ninguna razón suficiente,

Grote vio claramente que la necesidad en Platón era la antítesis misma de la ley natural. Esta palabra (necesidad), escribió, se entiende ahora habitualmente como lo que es fijo, permanente, inalterable, cognoscible de antemano. En el Timeo platónico significa exactamente lo contrario: lo indeterminado, lo inconstante, lo anómalo, lo que no puede entenderse ni predecirse. Es Fuerza, Movimiento o Cambio, con el atributo negativo de no ser regular, ni inteligible, ni estar determinado por ningún antecedente o condición cognoscible (Cornford, 1997, p. 172) (subrayado y traducción propia: H.M.)

Timeo señala la bondad del demiurgo lo que se traduce en que su causalidad eficiente es la más elevada posible, sin embargo como señala Cornford:

[...] pero se nos ha recordado perpetuamente que el trabajo de la benevolencia más incondicional no puede ser perfecto; sólo puede ser “lo mejor posible”. El Demiurgo ha estado actuando siempre bajo ciertas condiciones dadas, que él no originó y que ponen un límite a la bondad de su obra. Ahora tenemos que tener en cuenta ese “otro principio” implicado en la producción. Se introduce bajo los nombres de Necesidad y Causa Errante (Cornford, 1997, p. 159) (traducción propia: H.M.)

Aunque en la obra del demiurgo “La Razón venció a la Necesidad al persuadirla a guiar la mayor parte de las cosas que se vuelven hacia lo mejor (48A)”²⁶ (Cornford, 1997, p. 35, traducción propia: H.M.), quedó un vestigio irracional necesario para fundamentar

las ‘colocaciones’ aparentemente arbitrarias en la naturaleza, las que son la contribución de lo que Platón llama aquí *ἀνάγκη* [Anánke]” (Cornford, 1997, p. 164) (traducción y aclaración entre corchetes propia: H. M.).

26. La razón demiúrgica “vence” a la necesidad caótica e irracional, la “persuade” en tanto produce finalmente su ordenamiento aunque no perfecto.

la distinción entre arquetipos (suprasensibles) y copias (cosas y hechos del mundo); nosotros diríamos, necesario para no confundir el mapa con el territorio (o *creatura* con *pléroma* como diremos, cf. *infra*: Capítulo 13):

A esta causa primaria [demiurgo] se contraponen otros tipos de causas que son aquellas que desprovistas de razón dan origen a efectos causales, sin orden, causa errante, o fuerza de la naturaleza sin intervención inteligente, Necesidad en su forma pura, suerte de remanente del caos inicial, y representan la ausencia de una causalidad racional. Como el Universo fue creado por una conjunción de Inteligencia y Necesidad [irracional] se establece un equilibrio entre ambas fuerzas, donde siempre la Inteligencia tiende a persuadir a la Necesidad (Bruni Celli, 2005, p.65) (subrayado y aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Cornford cita a Taylor al preguntarse si es posible eliminar la causa errante (la *anánque* o necesidad o dimensión irracional) del conocimiento de la naturaleza y lograr una matematización completa:

Si alguna vez pudiéramos tener un conocimiento completo, encontraríamos que la *ἀνάγκη* [*anánke*] habría desaparecido de nuestra explicación del mundo. Pero como el mundo sensible mismo es *ἀεὶ γιγνόμενόν* [*aeí gignómenon* = “lo que deviene”] y nunca completo, no puede haber conocimiento completo de él (págs. 300-301 [de la obra de Taylor]). A diferencia de Archer-Hind, el profesor Taylor parece tener razón al negarse a identificar la necesidad con la ley natural, que no es [esta última] una causa errante ni está abierta a la persuasión (Cornford, 1997, p. 164) (Aclaración entre corchetes y traducción propias: H. M.)

El comentario de Archer-Hind referenciado por Cornford, está influenciado por la lectura tradicional del Capítulo 1 del libro bíblico

del *Génesis*, al conceptualizar al demiurgo como un ser todopoderoso²⁷ que trabaja *ex-nihilo* (creación desde la nada), por ello interpreta la Necesidad o Anánque como ley natural. “Al suponer que la Necesidad significa las leyes de la naturaleza e identificar a estas leyes con un modo de operación de la Razón, Archer-Hind ha eliminado uno de los dos factores considerados por Platón y ha dejado a la Razón en completo control” (Cornford, 1997, p. 164, traducción propia: H.M.).

Platón sigue la metáfora del artesano humano, que nunca es todopoderoso como el Dios judeo-cristiano ni trabaja como Él *ex-nihilo*²⁸:

El Demiurgo de Platón [...] se representa como el artesano humano, que debe tener materiales con los que trabajar. Su tarea es introducir algún orden inteligible en un desorden del que él “se apodera”, no crea el material antes de darle forma. El material puede tener propiedades propias que él puede, dentro de ciertos límites, utilizar para su propósito, pero que él no instituyó. Esta posibilidad debe mantenerse abierta, no excluida por la supo-

27. Un “Creador omnipotente es ajeno al pensamiento griego antiguo, que negaba unánimemente la posibilidad de crear algo a partir de la nada” (Cornford, 1997, p. 165).

28. “En nuestro relato del Génesis 1, a veces leemos cosas que el texto no dice, por ejemplo: decimos que Dios crea ‘de la nada’, o que de la nada va sacando las cosas; en realidad lo que el texto dice es que Dios va poniendo orden, separando cosas, poniendo distancia entre unas y otras para que no estén mezcladas y haya confusión. También nos hemos acostumbrado a decir que Dios crea por la palabra: Dios dice ‘hágase’ y la cosa aparece ‘de la nada’; en realidad la cosa no aparece sólo por el decir y ‘de la nada’ sino —sobre todo— por el separar, por el poner orden... Cuando en la traducción de la Biblia encontramos que al principio ‘todo era confusión y no había nada en la tierra’ en el hebreo encontramos *tohu wabohu* ‘desolación y vacío’ binomio que se ha hecho proverbial para designar un completo desorden, ausencia de vida y fecundidad, que la mentalidad antigua asociaba a la imagen del abandono, la soledad y la ausencia de vida. Pero esta ‘nada’ nada tiene que ver con lo que nosotros entendemos cuando decimos ‘creación desde la nada.’” (Magnasco, 2007).

sición gratuita de que el Demiurgo debe poseer una omnipotencia ilimitada [...] Es experiencia familiar de todo artesano que su material limita el alcance de su diseño y puede impedirle alcanzar una perfección que puede imaginar pero que nunca alcanzará. Hasta ahora, en realidad no hay más que prejuicios modernos contra la aceptación de la imagen de Platón de la Razón divina como confrontada por algo que frustra en parte su propósito benévolo y necesita ser persuadido, porque no está completamente bajo su control. (Cornford, 1997, p. 165) (traducción y subrayado propios: H.M.)

§. *Platón y Einstein: sintonías desde el concepto platónico de Jóra*

Es importante en orden a la comprensión de la relación entre matemática y naturaleza, a partir de la exégesis sobre la *jóra* —binomio espacio-material— la expresión de Gómez:

De esta manera [la concepción de] el espacio [*jóra*] (...) localiza a Platón en una línea próxima a la propia geometrodinámica einsteniana pero al contrario que en Einstein o en Descartes esto no dará lugar a una racionalización de lo fenoménico sino por el contrario a su esencial irracionalidad ya que el espacio no es concebido como pura forma, de otra manera, no es concebido como “geometría” (Gómez, 1979, p. 72) (subrayado y aclaración entre corchetes propias: H.M.)

Respecto de la “geometrodinámica einsteniana” representamos el concepto mediante una imagen metafórica probablemente conocida por el lector o lectora. Se trata de comprender “la atracción gravitatoria” como el resultado de la deformación —como si de una membrana elástica²⁹ se tratara— de espacio-tiempo en torno a los cuerpos masivos:

29. Es una gran metáfora: “Con Einstein todo cambia [...] daba una respuesta al porqué de la gravitación, ¿qué vaina es? [...] no hay ninguna causa misteriosa, nada que funcione a distancia, de forma mágica, instantánea; la gravedad es solo un

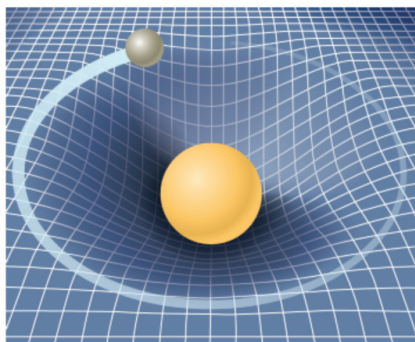


Figura N° 34: Ejemplo de geometrodinámica: el campo gravitatorio entendido desde la metáfora de la deformación de una superficie bidimensional como una cama elástica al colocar una pelota pesada. Una masa más pequeña “orbita” en el espacio-tiempo distorsionado por la masa más grande (ilustración tomada de Ling, Sanny y Moebis, 2021, p. 681; licencia de atribución internacional de Creative Commons 4.0 -CC BY 4.0-)

§. *Un misterio no matematizable*

Dije más arriba (cf. *supra*: *Heisenberg y el Timeo platónico* en Capítulo 11) que los triángulos rectángulos inmateriales son principios “anteúltimos” de todo lo producido por el demiurgo, pues Timeo se apura a enunciar que en cuanto a los principios de los triángulos mismos “se trata de números sólo conocidos por Dios y por los hombres amados por él” (Platón, 1872, p. 200). Algunos ven aquí a los pitagóricos³⁰ y su concepción mística (De Azcárate, 1872, p. 200), otros marcan —en sintonía con lo

efecto de la curvatura del espacio-tiempo, el espacio, cuando se curva, empuja la materia. Eso es precisamente lo que llamamos gravedad.” (Santaolalla, 2022, Día 2)

30. “Lo que está más allá de la duda razonable es que, como dice Russell, casi todas las ideas de Platón son de origen pitagórico. Pitagórica es la primacía de la forma sobre la materia, pitagóricas eran las *mathemata* y la idea de que la matemática es el substrato del universo; pitagóricas la anamnesis y la metempsychosis; pitagóricas son palabras como teorema y matemática, armonía, cosmos y filosofía. Y pitagórica es también la más antigua definición de la belleza como la unidad en la diversidad, la armonía de las partes entre sí y con el todo” (Takahashi, 2006, p. 107).

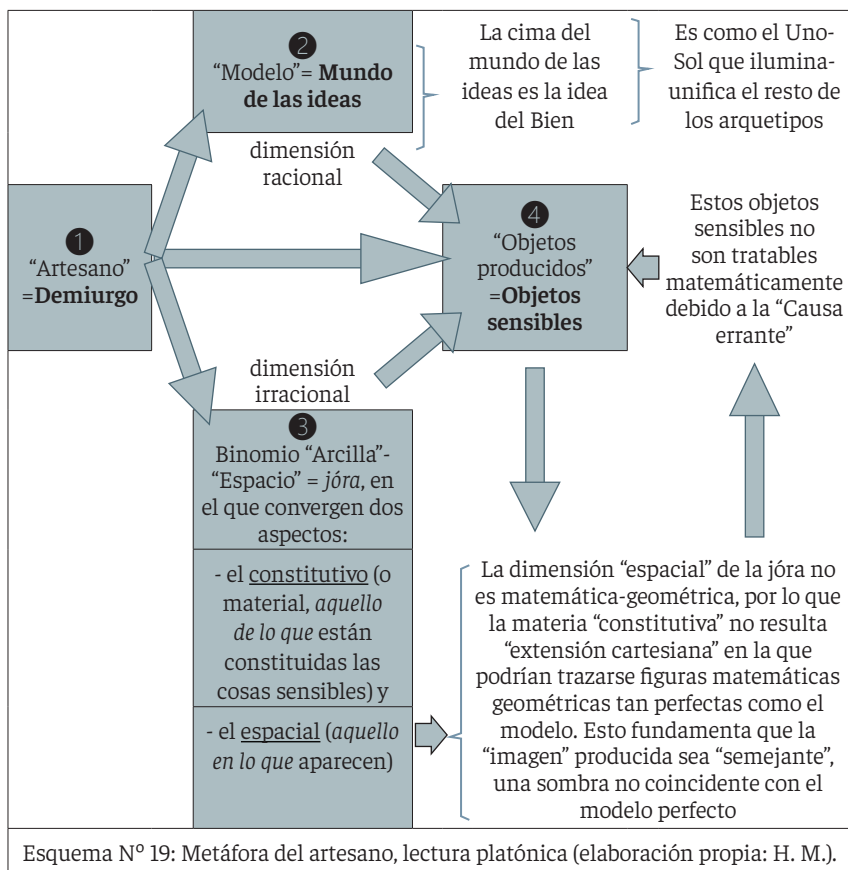
que venimos diciendo— la imposibilidad de matematizar la naturaleza:

[Platón] pretende construir las formas geométricas de los cuatro cuerpos primarios a partir de triángulos que considera elementales. Sólo añade que ni siquiera este análisis pretenderá haber alcanzado el primer principio o principios de todas las cosas. Esta advertencia puede significar que los propios triángulos elementales son reducibles [a su vez] a números, y que el número tal vez deba derivarse de la unidad; pero aquí no llevará el análisis tan lejos. O puede significar que nadie podrá conocer realmente la constitución última del cuerpo, porque no puede existir la ciencia física, sino sólo una explicación probable. (Cornford, 1997, p. 162) (subrayado, aclaración entre corchetes y traducción propias: H. M.)

§. Conclusión

Si bien el modelo utilizado por el demiurgo-artesano es racional y si se quiere “matemático”, el resultado logrado no lo es (según esta interpretación de la metáfora del artesano, la matemática no podría desentrañar cabalmente la realidad).

Resumimos en el siguiente esquema lo dicho:



XLVIII. SÍNTESIS METÁFORAS RELACIÓN MATEMÁTICA- UNIVERSO

Metáforas cosmológicas que marcaron los albores de la modernidad y representantes que las asumieron					
Metáfora del artesano					
Poder del artesano		Modelo utilizado		Resultado obtenido	
Limitado	Ilimitado	Ideas matemáticas del mundo de las ideas	Mundo de las ideas completo ³¹	Perfecto, matematización completa	Imperfecto, sólo el modelo es perfecto
Postura de Platón	Postura de Galileo Newton	Postura de Galileo Newton	Postura de Platón	Postura de Galileo Newton	Postura de Platón
Metáfora de la emanación					
Tipo de producidos			Tipo de resultado		
Emanación del espacio y del tiempo	Emanación de la realidad completa		Matematización geométrica posible	Matematización geométrica imposible	
Postura de Newton	Postura de Giordano Bruno		Postura de Newton	Postura de Giordano Bruno	
Esquema N° 20: Metáforas que marcaron la relación matemática-universo (elaboración propia: H. M.).					

31. Incluye las ideas superiores como la Justicia, el Bien, la Virtud.

Capítulo 13

LA LÓGICA DE LA CIENCIA ES LA DE LA METÁFORA O “SILOGISMO DE LA HIERBA”: UNA TEORÍA MATEMÁTICO-RELACIONAL DE FORMACIÓN DE CONCEPTOS

Aún hay ingenios acostumbrados a la introspección que creen que existen “certidumbres inmediatas”, por ejemplo, el “yo pienso” o, como era la creencia supersticiosa de Schopenhauer, el “yo quiero”; como si en este caso el conocimiento consiguiese aprehender su objeto pura y simplemente, en tanto que “cosa en sí”, sin alteración de parte del objeto ni del sujeto. Yo afirmo que la “certidumbre inmediata”, así como el “conocimiento absoluto” o la “cosa en sí”, encierra una contradicción; sería, pues, esta la ocasión de librarse del engaño que encierran las palabras.

Friedrich Nietzsche, “Más allá del bien y del mal”

XLIX. PLÉROMA Y CREATURA

Gregory Bateson (en Bateson & Bateson, 1994) dice que en la búsqueda de patrones y regularidades (agregamos tanto en nuestra vida diaria como en ciencia) funciona la “lógica de la metáfora” que él llama (por razones que veremos) “lógica de la hierba”. Bateson comienza relacionando la distinción entre “mapa” y “territorio” de Korzybski con el binomio “creatura” y “pléroma” de Carl Gustav Jung. Para Jung el “pléroma” (del griego: “lleno”, “suma total”, Pabón, 2001, p. 484) es el mundo físico, el mundo de las “cosas” (como lo es el “territorio” de Korzybski), mientras que la “creatura” (del latín: “engendrado”, De Miguel y el Marqués de Morante, 1914, p. 241) son las *descripciones* que el sujeto hace sobre “pléroma” (o el “mapeado” que el sujeto realiza a partir del “territorio”, o lo que el sujeto “engendra” —o conceptualiza— a propósito del territorio).

Tanto el “mapa” de Korzybski como la “creatura” de Jung, son resultado de *procesos mentales*, es decir, ni el “mapa” ni la “creatura” *están* propiamente *en* el territorio, como si fuesen resultado de un contacto directo con la empiria sin mediaciones, sino que con *base en* el territorio o en el pléroma y en *base a* sus necesidades, el sujeto traza activamente geografías mentales sintéticas, útiles, que resultan exitosas para su vida (recordar nuestras metáforas sustancializadoras y espacializadoras, Esquema N° 5 en Capítulo 1) haciéndolo en forma más o menos desarrollada según sus objetivos (cf. Esquema N° 6 del Capítulo 1):

Es, por supuesto, cierto que nuestras explicaciones, nuestros tratados sobre la materia inanimada, están colmados de información. Pero esa información es toda *nuestra*, es parte de *nuestros procesos vitales*. El mundo de

la materia inanimada, el pleroma¹ descrito por las leyes de la física y de la química no contiene, el mismo, ninguna descripción (Bateson & Bateson, 1994, p. 30) (nota al pie y subrayado nuestros: H.M.)

1. El traductor desde el inglés decidió escribir “pleroma”, es decir, sin acento, pero en griego el acento existe y transliterado es “pléroma” (cf. Pabón, 2001, p. 484).

L. EL SILOGISMO DE LA HIERBA: AUTÉNTICO PROCESO MENTAL

Por lo dicho hasta aquí, este trazado de relaciones o mapeado no son sin el sujeto y tampoco sin el territorio, en un proceso de amalgamamiento que rompe con el dualismo de Descartes de las sustancias separadas *res cogitans* y *res extensa*. En otras palabras no hay *cogito* cartesiano ingénito (cf. Ricœur, 1975, p. 7-30, no hay estructura sin génesis como dice Piaget, cf. Piaget *et alii*, 1980, p. 11), o no hay proceso mental que sea originalmente autónomo, como sustancia pensante original e ingénita, sino que la estructura mental es un proceso evolutivo constituido por la acción vital (lo que llamamos con Ricœur y Husserl “mundo de la vida operante”, cf. *supra*: *Horizontes del mundo y de la vida operante* en el Capítulo 2) desde la andadura por las cosas y hechos del mundo (que decanta en *praxis* o “cantera de analogías”). Nosotros hemos hablado —en este sentido— de una construcción conjunta de sujeto y objeto racionales, o “fusión” desde la operación metafórica.

Bateson establece que el “silogismo metafórico” o como él lo llama “silogismo de la hierba” estructura tanto la evolución biológica como su descripción científica. ¿Qué quiere decir? Escuchemos a Bateson hablando del conocimiento metafórico y el matemático:

Señalemos la diferencia que hay entre las verdades de la metáfora y las verdades que persiguen los matemáticos en virtud de ardides bastante violentos e inapropiados [...] La lógica clásica distinguía varias clases de silogismos, de los cuales el más conocido es el “silogismo categórico”, que se desarrolla así:

Todos los hombres son mortales [REGLA];

Sócrates es un hombre [CASO de la REGLA];

Luego Sócrates es mortal [RESULTADO].

[...] El predicado “es mortal” se atribuye a Sócrates al identificarlo como un individuo perteneciente a una clase cuyos miembros comparten ese predicado [notemos que Bateson está poniendo el acento en los predicados de los silogismos]. Los silogismos de metáfora son completamente diferentes y se desarrollan, por ejemplo, así:

La hierba perece;
Los hombres perecen;
Los hombres son hierba.

(Para hablar sobre este tipo de silogismo y compararlo con el silogismo categórico, podríamos llamarlo el “silogismo de la hierba”) (Bateson & Bateson, 1994, p. 38-39) (aclaraciones entre corchetes propia: H.M.)

Claramente, con el ejemplo elegido por Bateson, el silogismo de la hierba parece totalmente ilógico, pero si lo pensamos bien, es la lógica que funciona en nuestros ejemplos del Capítulo 1. Lógicamente hay una diferencia fundamental entre el silogismo categórico implicado en la deducción y el silogismo metafórico, “Pero tratar de combatir todos los silogismos de la hierba sería tonto porque esos silogismos son la sustancia misma de que está hecha la historia natural. Cuando buscamos regularidades en el mundo biológico encontramos continuamente estos silogismos.” (Bateson & Bateson, 1994, p. 39).

§. *Mapeado: comparar, diferenciar y volver a comparar*

Desde nuestra investigación, podemos afirmar —sin temor a exagerar— que los “silogismos de la hierba” —o procesos metafóricos de inteligencia y creación— construyen las ideas y teorías científicas que son fruto —justamente— de patrones o regularidades hurgados metafóricamente en el territorio o pleroma.

Este hurgar patrones implica comparar, detectar diferencias significativas, y volver a comparar. Veamos: ¿Qué es la diferencia significativa para Bateson? Por ejemplo, en un territorio, trazamos “geografías útiles”: llanura, río, montaña (como trazamos en nuestra vida diaria geografías útiles como “la esquina”, cf. Esquema N° 5 del Capítulo 1). Son útiles en tanto no nos perdemos en una infinidad de detalles que —para las cuestiones prácticas— no nos interesan (un mapa tan detallado como el territorio, además de redundante e inútil, no es un mapa,² cf. Borges, 1960, p. 847). Luego de detectadas las diferencias viene las semejanzas en los predicados o “silogismos de la hierba”, expresado como verdad de Perogrullo: *todas* las llanuras comparten con el resto del territorio predicados que las hacen ser *llanuras*, todos los ríos comparten las características de los ríos, y las montañas la de las montañas. Esta detección de diferencias significativas, Bateson las llama *diferencias que hacen la diferencia* o *información* y son el resultado del proceso mental:

En realidad, cuando hay *información* o *comparación* hay para mí un proceso mental. La información puede definirse como *una diferencia que hace una diferencia*. Un órgano sensorial es un órgano que compara, es un dispositivo que responde a la diferencia. Desde luego, el órgano sensorial es material, pero es *su condición de responder a la diferencia* lo que permite distinguir su funcionamiento como “mental” (Bateson & Bateson, 1994, p. 30)

2. Hoy en día tenemos “mapas” con detalles fantásticos e incluso con transeúntes incluidos —cuyas caras han sido borradas— a los que se suma una “realidad aumentada” (algo que no está allí pero se agrega). Este tipo de “mapa” nos centra en cuestiones cada vez más detalladas, usando un oxímoron podríamos decir que se trata de un mapa pleromático... Este tipo de mapeado no es el que tenemos en mente cuando hablamos de trazar mapas mentales, pues si los mapas mentales fueran de este tenor pletórico en detalles (o pleromático), seríamos —como el personaje borgeano Funes—, incapaces de razonar, porque “razonar” tiene como condición necesaria el “olvido” de los detalles (cf. Borges, 1944, p. 485-490).

§. *El necesario mapeo económico de un territorio pleno*

Nosotros necesitamos, para poder razonar, trazar mapas económicos del territorio (cf. desde el mundo literario a Borges, 1944, p. 485-490), porque el territorio es un “plenum” (Samaja, 2004, p. 151, 160, 233), cuya descripción admite potencialmente un número de variables tendiente a infinito (estos mapas son de naturaleza metafórica y desembocan en analogías útiles —recordar nuestras metáforas sustancializadoras y espacializadoras—):

[...] dado que todo objeto de investigación —abstractamente hablando— puede ser descripto mediante un número infinito de variables, la única forma de comenzar el trabajo científico será echar mano a analogías [*resultado de procesos metafóricos según nuestra investigación*] que promuevan la creación de mapas espirituales para abordar la experiencia. “Las construcciones mentales *a priori*, que están contenidas en toda síntesis, empapan la ciencia entera en un elemento ideal y creativo. (Jan Lukasiewicz [1970, 34]).” (Samaja, 2004, p. 189) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Si bien podemos analizar un sector de la realidad desde distintos puntos de vista, y considerando muchas variables (si lo pensamos bien, un vaso con agua tomado como objeto de estudio puede dar lugar a la consideración —muy posiblemente ociosa— de miles de variables...), no podemos decir que la empiria es totalmente amorfa, como si pudiésemos caprichosamente describirla de modo arbitrario... Decimos —mejor— que la empiria no es totalmente amorfa pero sí quasi infinitamente compleja. Por esto, Samaja califica a la realidad como “realidad plena” o “densa”, lo cual significa que aún no disponemos de respuestas a cuestiones como: “¿de cuáles tipos de elementos está compuesto el objeto?”, o “¿qué relaciones guardan entre sí?”, etc. (cf. Samaja, 2004, p. 149). En este sentido, Bateson

admite que en el pléroma o territorio, hay “saliencias” que permiten encontrar regularidades y trazar o engendrar la Creatura del mapa:

Hemos de comprender que si bien el Pleroma no tiene pensamiento ni información, así y todo contiene muchas otras clases de regularidades. [...] estas regularidades son (a falta de un término mejor) *inmanentes* al Pleroma, aunque esas regularidades pueden traducirse (otra vez a falta de un término mejor) al lenguaje de la Creatura (sólo en la Creatura puede existir el lenguaje) el mundo material continúa siendo inaccesible es el *Ding an sich* [la cosa “en sí” misma] kantiano al que no tenemos acceso [...] En última instancia todo cuanto podamos decir sobre el Pleroma es una cuestión de especulación, y místicos tales como William Blake, por ejemplo, niegan rotundamente su existencia. En suma, nos valdremos del término Pleroma de Jung para designar ese mundo inanimado descrito por la física que en sí mismo no contiene distinciones ni las hace, aunque, por supuesto, debemos hacer distinciones en nuestra descripción de ese mundo. (Bateson & Bateson, 1994, p. 30) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

LI. SILOGISMO DE LA HIERBA Y ABDUCCIÓN

Volvamos al silogismo de la hierba que para Bateson es de la esencia del proceso mental. Por ejemplo, podemos hablar de nuestra nariz o de la “nariz” del elefante (refiriéndonos a su trompa³), o de la nariz del gato, o la de una vaca... Siendo muy distintas todas ellas en tamaño, forma y dimensiones, se definen no por lo que *son* sino por las relaciones o por las *diferencias que hacen la diferencia*: todas ellas están centradas en la cabeza, ubicadas entre los ojos, un poco por debajo de ellos y un poco por encima de la boca... En estos traslados metafóricos funciona el silogismo de la hierba:

- El gato tiene *algo* entre los ojos, por debajo de ellos y encima de la boca (RESULTADO);
- Los seres humanos tienen *nariz, centrada* en la cabeza, situada *entre* los ojos, *por debajo* de ellos y *encima* de la boca (REGLA, notar el mapeado de relaciones);
- Ese *algo* del gato es una *nariz* (abducción del CASO, notar la economía lograda a través de la semejanza basada en el mapeado y traslado metafórico).

La regularidad, el patrón, se basa en el silogismo de la hierba. A diferencia del silogismo categórico que pone el acento en el sujeto de la oración, el silogismo de la hierba pone el acento en su predicado, notar que el ejemplo anterior lo que se iguala o asemeja es el mapa o predicado y no el sujeto (los seres humanos y el gato).

En el caso de la metáfora de Maxwell:

- En los alrededores de las cargas (SUJETO) se visualizan líneas entre las cargas (PREDICADO);

3. “La trompa del elefante en realidad es una larguísima nariz que sirve para oler, respirar, barritar, beber y agarrar cosas, especialmente las que se pueden comer” (National Geographic: [18 datos sobre el animal terrestre más grande del mundo: el elefante](#))

- El líquido (SUJETO: agua, vino, etc.) fluye formando líneas de flujo que emergen de una fuente y se van por un sumidero (PREDICADO);
- En los alrededores de las cargas (SUJETO) se forman líneas de flujo que emergen de una fuente y se van por un sumidero (PREDICADO).

Fijémonos que el acento está puesto en el mapa o predicado y que desde el predicado “generamos” los rasgos del sujeto: las líneas que rodean las cargas son como las de un líquido imaginario que mana de la carga positiva (que se comporta como una fuente) y desaparece en la negativa (que se comporta como un sumidero).

LII. VERSIÓN SEMIÓTICA DE LA ABDUCCIÓN

En los ejemplos anteriores (sobre la nariz y sobre las líneas de Faraday-Maxwell), el “mapa” era de tenor relacional, y además un híbrido, recordar la intersección de conjuntos de características en los esquemas de funcionamiento de la metáfora basados en diagramas de Venn-Euler (en *supra*: *Los esquemas híbridos puente teoría-empiría* Capítulo 1).

Peirce analiza lógicamente *lo que tenemos en mente* —llamado por él “fanerón”⁴— cuando somos conscientes de tener algo en mente (como —por ejemplo— una nariz o una vaca o una bandera roja en una playa o el color rojo). Si se nos pidiese una descripción lógica de uno de tales “fanerones” ¿cómo lo haríamos? Seguramente en nuestra respuesta aparecerán —si hurgamos un poco— el “mapa” de Korzybski, la “creatura” de Jung y de Bateson y en términos de Peirce —y en ultimo análisis lógico del fanerón— las llamadas categorías faneroscópicas: la “primeridad”, la “segundidad” y la “terceridad”. Mapa y creatura se relacionan entonces con la faneroscopia de Peirce en tanto que las categorías de “primeridad”, “segundidad” y “terceridad” en la que se descomponen lógica y semióticamente los “fanerones” son de esencia relacional, es decir, ellos se definen sólo por relaciones puras. Veremos algún ejemplo para atenuar este discurso esotérico.

§. *Análisis faneroscópico de una vaca*

Por ejemplo una vaca (vista o imaginada) es un fanerón, Peirce establece que si se nos pidiera una descripción de la misma, no sería

4. Para Peirce, fanerón es sinónimo de fenómeno (tomado este último como contenido de la conciencia), es lo que se presenta a una mente, aquí y ahora, trate de algo real o no, visto en acto o imaginado o recordado sin atender a su valor cognoscitivo (cf. Marty & Marty, 1992, p. 101).

adecuada —lógica y semióticamente hablando— decir que tiene una cabeza con dos ojos, hocico, dos orejas, cuerpo, cola, cuatro patas, cuerpo revestido en cuero, etc. Esta sería una descripción basada en una lógica conjuntista, centrada en un conjunto de partes, pero nosotros venimos advirtiendo que nuestra lógica empleada en el conocer responde más a un mapa, a una topología, a relaciones entre cosas más que a un conjunto de cosas. Es decir:

lo que un análisis corriente llamaría partes de la vaca (por ejemplo la cabeza, el cuerpo, los miembros, la cola...) no es pertinente para un análisis lógico del fenómeno [...] lo que importa en el análisis del fanerón “vaca” son las formas de relación que constituyen la vaca a partir del conjunto de sensaciones que su percepción produce [...] por ejemplo, se trata de la posición relativa de los ojos respecto del hocico, de las orejas respecto del cráneo, etc. (Marty & Marty, 1992, p. 102)

Notemos que la vaca en una pradera, es un fanerón compuesto por colores y movimientos en una determinada relación, que nosotros reconocemos (por un razonamiento abductivo) como una vaca en una pradera. Si nos centramos en el ojo de la vaca, también debemos reconocer una serie de relaciones: “Ahora bien, el ojo tiene a su vez su propia forma de relaciones; el círculo del iris, el de la pupila que delimita zonas de colores con una determinada configuración” (Marty & Marty, 1992, p. 102). Siguiendo nuestra descripción lógico-semiótica arribamos a las categorías faneroscópicas últimas:

Finalmente, vemos con claridad que el límite inferior de este análisis es un conjunto de sensaciones puras, indivisibles y sin partes, inanalizables, producidas por el efecto de los rayos luminosos surgidos de la vaca sobre nuestros sentidos. Entonces, la forma del fanerón “vaca” aparece como

un arreglo configurado extremadamente complejo de tales sensaciones. En este caso preciso, esta combinación es de naturaleza topológica y descriptible mediante una red de relaciones formales que en sí misma puede constituir el objeto de una descripción, por ende, de un saber, puesto que las sensaciones “básicas” sólo pueden experimentarse y nada más (Marty & Marty, 1992, p. 102) (subrayado propio: H.M.)

Así, aparece el mapa relacional, no el amontonamiento de partes:

Vemos que el análisis faneroscópico será el de la constitución formal de esta totalidad colectiva que constituye el fanerón; en ningún caso será una enumeración de partes puestas unas junto a otras. No se analiza lógicamente un despertador o un televisor exponiendo las piezas que lo constituyen, sino buscando el esquema de su montaje. El análisis faneroscópico no hace otra cosa.” (Marty & Marty, 1992, p. 102)

Observamos que lo que hace lógicamente a ese fanerón ser una vaca es una red de relaciones trazadas por el sujeto a imagen de un mapeado (por ejemplo el hocico —o “nariz”— está en medio de los ojos, etc., etc.). La vaca no es una sumatoria de partes desvinculadas sino profundamente relacionadas.

¿Cuáles son los elementos indescomponibles del fanerón? Peirce los llama primeridades, segundidades y terceridades, ellas son las tres categorías de elementos “necesarias y suficientes para describir los fanerones [...] que corresponden a los tres modos posibles de ser todas las cosas [...] ‘Son el ser de la posibilidad cualitativa positiva [primeridad], el ser del hecho actual (es decir en acto) [segundidad] y el ser de la ley [terceridad] que regirá los hechos en el futuro’ (Peirce, CP 1-23)” (Marty & Marty, 1992, p. 103) (aclaraciones entre corchetes propia: H.M.)

§. *Faneroscopía de una bandera roja en una playa junto al mar*

Pongo el ejemplo del fanerón “bandera roja en la playa junto al mar”: ¿cómo lo describiríamos lógicamente? Es claro que no vamos a ir por un conjunto de partes inconexas: género rojo, arena y agua salada... Vamos a descomponer faneroscópicamente:

- El color rojo, es una *primeridad*, al no tener relación actual con ninguna otra cosa, es una mera *posibilidad* o potencialidad (que en un existente se encarna en un vestido, un auto, una rosa, una bandera, etc.).
- La forma rectangular, es otra *primeridad* al no tener relación actual con ninguna otra cosa (es también una *posibilidad* en tanto “no existe actualmente”, por ejemplo: en un cuadro, o en una bandera, o en una cancha de tenis, etc.).
- El color rojo más la forma rectangular nos da la idea de *bandera roja*, lo cual es una *segundidad* en tanto relaciona dos cosas (el color rojo y la forma rectangular) y le suma a la posibilidad del rojo la *existencia* en una bandera.
- El color rojo, más la forma rectangular, más el hecho de estar en una playa junto al mar, nos da la idea de “peligro” o “*mar peligroso*”, lo cual es una *terceridad* al relacionar tres cosas (lo rojo, lo rectangular, la situación en playa marina), y una *ley* o *regla* forjada comunitariamente.

La faneroscopía, sería este estudio del fanerón en tanto puede descomponerse en tres tipos o categorías de fanerones elementales *primeridad*, *segundidad* y *terceridad* “que permiten recomponerlo mediante una combinatoria apropiada” (Marty & Marty, 1992, p. 105).

LIII. ABSTRACCIÓN FUNCIONALIZANTE VS. SUSTANCIALIZANTE

Atendiendo a lo dicho sobre el carácter relacional de nuestra conceptualización, en tanto se vale de mapas engendrados por diferenciación significativa y comparación —como vimos—, cabe traer al ruedo la crítica que Cassirer hace al concepto habitual (aristotélico) de abstracción.

Nosotros no abstraemos “esencias sustanciales” de la multitud de “cosas” dadas de *antemano* sino más bien mapas relacionales que justamente son el *concepto* de la cosa. Como en el concepto de “nariz”, nosotros no abstraemos una esencia eliminando todos los accidentes particulares de —digamos— mil narices particulares. Más bien, una nariz para nosotros, se inscribe en un esquema o topografía relacional. Cassirer (1953) lo advirtió al estudiar el tipo de abstracción que funciona en ciencias matemáticas, dándose cuenta que la abstracción aristotélica no encajaba y que yendo más hacia lo profundo del proceso, no sintonizaba con lo que sucede al conceptualizar en cualquier ciencia (como Bateson lo vio para el caso de las ciencias de la vida). El punto flaco de la lógica de la abstracción aristotélica está en su metafísica que supone cosas definidas dadas de antemano que sólo difieren accidentalmente:

La lógica aristotélica, en sus principios generales, es expresión fiel y espejo de la metafísica aristotélica. [...] Sus presupuestos son simples y claros; [...] Nada se presupone salvo la existencia de las cosas en su multiplicidad inagotable, y el poder de la mente para seleccionar de esta riqueza de existencias particulares aquellas características que son comunes a varias de ellas. (Cassirer, 1953, p. 4) (traducción y subrayado propios: H.M.)

Es decir, la abstracción consiste en eliminar todos los accidentes para quedarse con la sustancia. ¿Sustancia? Para Cassirer el ascenso de especies a géneros y de estos a generalidades cada vez más generales (o sustancialidades cada vez más genéricas) llega a algo muy parecido a la “nada”:

Cuando agrupamos así objetos caracterizados por la posesión de alguna propiedad común en clases, y cuando repetimos este proceso en niveles superiores, surge gradualmente un orden y una división cada vez más firmes del ser, de acuerdo con la serie de similitudes fácticas que atraviesan las cosas particulares. Las funciones esenciales del pensamiento, a este respecto, son simplemente las de comparar y diferenciar una multiplicidad sensiblemente dada [...] En este punto de la teoría lógica tradicional del concepto surgen las primeras dudas sobre su validez y aplicabilidad universales, si el objetivo final de este método de formación de conceptos es completamente vacío, todo el proceso que conduce a él debe despertar sospechas (Cassirer, 1953, p. 4-6) (traducción y subrayado propios: H.M.)

La sospecha de que este tipo de concepción de la abstracción de tipo “negativa” sea válida es que es justamente lo contrario de lo que se espera del conocimiento científico:

Lo que exigimos y esperamos de un concepto científico, en primer lugar, es esto: que, en lugar de la indefinición original y la ambigüedad de las ideas, instituya una determinación nítida e inequívoca; mientras que, en este caso, por el contrario, las nítidas líneas de distinción parecen más borradas cuanto más avanzamos en el proceso lógico. (Cassirer, 1953, p. 6) (traducción propia: H.M.)

Creemos que la concepción de la abstracción de tipo “mapa”, “creatura”, “faneroscopía”, en un proceso donde la relación topográfica es importante y en donde las “cosas” no están dadas de antemano al conocimiento, sino que son “creadas” por el proceso mental de tipo metafórico-abductivo en fecunda interacción con la empiria y las necesidades vitales, hace más justicia a lo que sucede realmente en la investigación científica y en el conocimiento engendrado en la vida diaria. Para no atestar al lector remitimos directamente al estudio de Cassirer (1953) (sobre todo la Parte I: *The concept of thing and the concept of relation* y dentro de ella el Capítulo I: *On the theory of the formation of concepts*).

Capítulo 14

MODELO DE REVESTIMIENTO MATEMÁTICO DE LA METÁFORA DE BASE

El ser verdadero empieza a manifestarse cuando el talento decae, cuando deja de mostrar lo que sabe hacer. El talento es también un adorno como otro cualquiera, que, a veces, hace el papel de disfraz.

Friedrich Nietzsche, “Más allá del bien y del mal

Todo lo que distingue al ser humano frente al animal depende de esa capacidad de volatilizar las metáforas intuitivas en un esquema, esto es, de disolver una imagen en un concepto

Friedrich Nietzsche, “Sobre verdad y mentira en sentido extramoral”

LIV. RELACIÓN METÁFORA Y MATEMÁTICA

Ya hemos hecho referencia a la matematización de la metáfora de la honda por parte de Newton y la obtención de la Ley de Gravitación Universal (matematización realizada en base a los revestimientos matemáticos de Huygens sobre los cuerpos en rotación y en base a los revestimientos de las metáforas de Kepler, cf. Anexo 3). Veremos aquí otro ejemplo fundamental para la Física clásica que es el revestimiento de la metáfora hídrica de Maxwell en el campo del electromagnetismo.

En orden al planteo de un modelo de revestimiento, expondremos la relación entre metáfora y matemática desde un punto de vista fundacional que es el de Maxwell y desde el punto de vista más filosófico como “mathesis de mathesis” que vincularemos con los ejemplos de Faraday-Maxwell.

§. *Maxwell: la analogía como vehículo de matematización*

Maxwell propone usar analogías con el fin de revestir matemáticamente las geniales ideas de Faraday sobre las líneas de fuerza. Para ello usará una metáfora hídrica que le permitirá encontrar una matemática referida a los líquidos (dominio fuente) que trasladará a su líquido imaginario integrado por las líneas de Faraday (dominio meta). Notemos que Maxwell habla claramente sobre las analogías, como vehículo de un fructífero revestimiento matemático. Las líneas de Faraday contaban con una matemática inicial que Maxwell está decidido a profundizar desde su genial metáfora:

Es por el uso de analogías [...] que he tratado de exponer ante la mente, en una forma conveniente y manejable, esas ideas matemáticas que son necesarias para el estudio de los fenómenos eléctricos

[...] Al tratar las partes más simples del tema usaré los métodos matemáticos de Faraday así como también sus ideas. Cuando la complejidad de los temas la requiera, usaré la notación analítica, permaneciendo en el desarrollo de ideas originadas por el mismo filósofo (Maxwell, 1890a, p. 157-158) (traducción propia: H.M.)

Maxwell pasa a conectar las líneas de fuerza con la metáfora del líquido imaginario, concibiendo metafóricamente a las líneas de fuerza como líneas de corriente líquida. La analogía y el traslado de la estructura matemática desde el dominio hídrico fuente, permite hacer nuevas preguntas que dicha teoría matemática sugiere. Maxwell entiende que cuando una expresión matemática vincula formalmente fenómenos diversos,¹ la misma puede ser ocasión de expansiones fructíferas, es decir: “estimular ideas matemáticas apropiadas” (Maxwell, 1890a, p. 157).

Maxwell se cuida de adoptar teorías físicas en forma prematura (es decir se cuida de confundir de algún modo el “mapa” —hídrico-matemático— con el “territorio” —eléctrico-físico—) y se permite desde la analogía hídrica traspuesta en modelos matemáticos ampliar las posibilidades de conocimiento del dominio meta eléctrico: “Refiriendo todo a la idea meramente geométrica de la moción de un fluido imaginario, espero llegar a la generalidad y precisión, y evitar los peligros que provienen de profesar una teoría prematura para explicar la causa de los fenómenos” (Maxwell, 1890a, p.159, traducción y subrayados propios: H.M.). Maxwell tiene la esperanza de que estas ideas —que son fruto de la especulación creativa— puedan conducir a los “filósofos experimentales” (como Faraday) a nuevos experimentos y constataciones empíricas:

1. Como los térmicos y gravitacionales en el caso de la metáfora de Thomson, cf. *supra*: *Metáfora de Maxwell desde la metáfora de Thomson* en el Capítulo 6.

Si los resultados de la mera especulación que he recolectado son encontrados útiles para ser usados por los filósofos experimentales para arreglar e interpretar sus resultados, le habrán prestado servicio a su propósito, y una teoría adulta, en la cual los hechos físicos serán físicamente explicados, serán formados por los que por interrogación de la Naturaleza misma pueden obtener la única solución verdadera a las preguntas que la teoría matemática sugiere. (Maxwell, 1890a, p.159) (traducción y subrayados propios: H.M.)

En el Anexo 5 ofrecemos al lector y lectora interesados, el revestimiento de la metáfora hídrica por parte de Maxwell para arribar a alguna de las expresiones fundantes del electromagnetismo.

§. Apostilla: *matemática como mathesis de mathesis*

Matemática, Mathema, Mathesis

Según el diccionario “matemática” es la “ciencia deductiva que estudia las propiedades de los entes abstractos, como números, figuras geométricas o símbolos, y sus relaciones” (DRAE), aclara el diccionario que deriva del griego máthema (μάθημα) que significa “conocimiento”. Además, según Pabón (2001, p. 375) mathesis (μάθησις) significa “la acción de conocer”. Por lo tanto, siempre que el hombre conoce hay *mathema* o *mathesis* pero no siempre *matemática* tal como hoy la conocemos (es decir, al estilo moderno).

Se suele traducir *mathesis* —sin más— por “matemática” (por ejemplo Chemla, 2012, p. 382), cosa que es entendible a partir de Descartes que pretendía una *Mathesis Universalis*,² entendida como

2. “Esta mathesis refiere a una combinación de álgebra, geometría y lógica [...] Se puede afirmar que la *mathesis universalis* cartesiana se reduce a una extensión de los métodos geométricos a los problemas de las ciencias [...] busca encerrar el

“matemática universal”, pero sería abusivo entender la *mathesis* siempre sólo de este modo. Hay un camino hacia la matemática tal como ha llegado a nosotros, pero muchos de sus pasos y desviaciones son *mathesis* (acciones de conocer³) pero no *matemática* (de acuerdo con la definición dada).

¿Podremos considerar la operación metafórica como *mathesis*? En este caso, atendiendo a nuestra línea de investigación —que entiende que la primera conceptualización es metafórica para luego producir un revestimiento matemático que culmina en el modelo matemático— la matemática sería una *mathesis* de *mathesis*. (cf. Esquema N° 6 del Capítulo 1).

Esto nos lleva a pensar ¿qué es la matemática? Metafóricamente podríamos decir que la matemática es una forma de *elevación* desde lo *grave* a lo *etéreo*, desde la multiplicidad y corruptibilidad al orden, regularidad y permanencia. Desde nuestra investigación, el lector o lectora comprenderá que nuestra cantera de analogías, en tanto órgano de asimilación de la realidad múltiple, puede ser descrita con rasgos de “mathema” y la operación metafórica con rasgos de “mathesis”. Siempre la acción del conocimiento es una traducción

conocimiento del mundo en un esquema matematizante. Se trata de englobar la ciencia a partir de lo deductivo matemático.” (Ruiz Zúñiga, 2003, p. 484-485). En el mismo sentido según Cassirer la matemática universal cartesiana “toma de la lógica el ideal de la construcción rigurosamente deductiva y el postulado de los primeros fundamentos ‘evidentes’ de la argumentación [...] tomando como modelo la geometría y el álgebra lo común a su objeto y a su método radica en el concepto de la *ordenación* y la *medida* [...] Ya busquemos y determinemos esta ordenación en las formas o en los números, en las estrellas o en los sonidos, es siempre el criterio general de la *relación* y la *proporción* el que sirve de punto de partida y de criterio de unidad. Por tanto, *una ciencia pura de las ‘relaciones’ y ‘proporciones’* —independientemente de la propia peculiaridad de los *objetos* en que se expresen y tomen cuerpo— y la meta primera a que tiende el método” (Cassirer, 1993a, p. 454).

3. Estas acciones de conocer pueden ser primariamente metáforas, por ejemplo observaciones teñidas de astrología en el caso de las primeras poblaciones mesopotámicas.

económica de lo múltiple a esquemas lo más simplificados y abarcativos posibles. El lenguaje que como vimos tiene raíces metafóricas nos permite tener un mundo manejable y reconfigurable en nuestra mente (cf. Magnasco, 2024).

La historia de la matemática nos permite inferir que la matemática es un modo inevitable del pensamiento del hombre de todos los tiempos. Este modo está asociado al instinto de supervivencia y las ideas de número, magnitud y forma tienen por lo menos 400.000 años de antigüedad (cf. Rey Pastor & Babini, 1985, p. 13 y Boyer, 1987, p. 19-21).

En un tono más filosófico, la matemática consiste en “iteraciones” de la reflexión ¿qué queremos decir? Que si bien la matemática tiene origen en el intento por solucionar problemas particulares de la vida diaria⁴ (primera reflexión) ella tiende a *elevase* desde las situaciones particulares haciéndose más abstracta (en reflexiones sucesivas desde la primera reflexión) y más versátil. Ruiz Zúñiga refiriéndose a la historia de la matemática utiliza una metáfora sobre la construcción muy pertinente, dice que ella de modo privilegiado se refiere:

[...] a aquellas situaciones que crearon conceptos y explicaciones de otros conceptos y explicaciones: edificios que si bien empíricos en sus cimientos, en la argamasa de todo, así como en los constructores y albañiles, se elevan cada vez más “hacia el cielo”. A pesar de esta elevación, por sus fundamentos empíricos (en sus nociones, métodos y artifices), se hace posible su aplicación en el mundo (Ruiz Zúñiga, 2003, p. 554) (subrayado propio: H.M.)

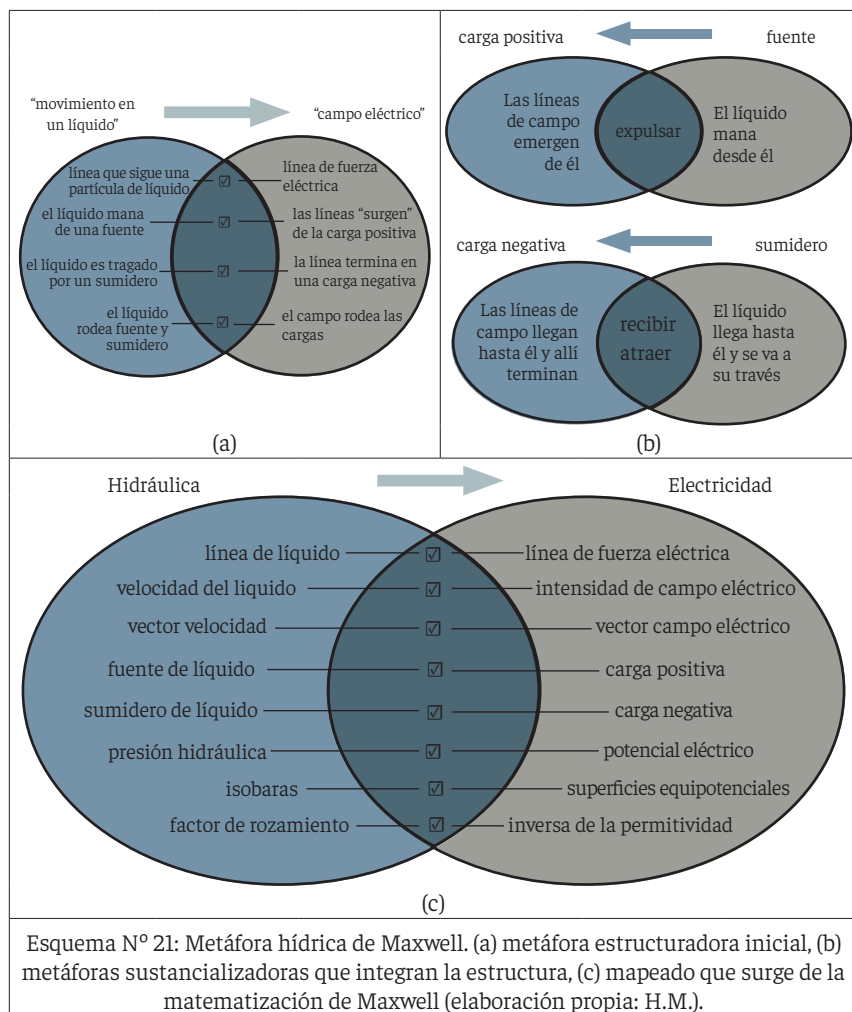
4. La arqueología de Egipto y Babilonia muestran desarrollos matemáticos aplicados a la vida diaria y a la astrología (fuertemente implicada con la vida diaria), desde el tercer milenio a.C. (cf. Eliade, 1999, p. 95-96; Ceram, 1975, p. 286-288; Nápoles Valdés, 2009, p. 27-28).

Observamos que hay una “abstracción” progresiva en los conceptos y explicaciones, nos referimos a “abstracción” en el sentido de “elevación” o “separación” respecto de los fundamentos empíricos (así, llegan a un nivel de “elevación” tal que parecen no haber tenido nunca contacto con nuestro mundo⁵).

Vestimento y revestimiento de hechos intrigantes

Desde nuestro estudio podemos ver que hay una iteración del proceso metafórico que culmina en el revestimiento matemático al uso moderno: vimos en el Capítulo 1 (cf. *supra*: *Metáforas encadenadas inteliendo hechos intrigantes*) que la metáfora de las líneas de fuerza o bandas elásticas (concepto) de Faraday complementada por la metáfora hídrica (concepto) de Maxwell, se revisten finalmente de matemática (reconceptualización) trasladando relaciones funcionales desde el dominio fuente familiar de la hidráulica. Este traslado de relaciones funcionales supone un mapeo del dominio meta en base al dominio fuente, sintetizamos las metáforas usadas y las relaciones funcionales transportadas en el siguiente gráfico que refresca algunos esquemas ya vistos (Nº 2, Nº 3 y Nº 4) y suma otros:

5. “Con el correr de la historia humana, las matemáticas de las abstracciones, acciones y operaciones sobre ellas mismas, llegaron a ocupar su corazón: conjuntos de construcciones mentales cada vez más alejadas de lo intuitivo y empírico. Tanto que, hoy en día, a veces, nos da la impresión que nunca tuvieron contacto con ese mundo [divinización]”. (Ruiz Zúñiga, 2003, p. 563) (hipótesis entre corchetes propia: H.M.).



Todas estas metáforas de base suelen olvidarse, o —como dice Bruner— luego de ayudar a subir la cuesta abstracta son arrojadas por la ladera (cf. Bruner, 2004, p. 58) y todo se reorganiza axiomáticamente, a la vez que —desconectadas las amarras de la tierra— todo se eleva al “cielo” abstracto olvidando su origen “terrestre” palpable.

Apoyando ese elevarse cada vez más “hacia el cielo” de la operación del razonamiento que culmina en los caracteres de la matemática abstracta, podemos reutilizar una metáfora de Henry Poincaré. El profesor y epistemólogo dice que muchas veces nos servimos de imperfectos esquemas —por ejemplo el de una función continua trazada en la pizarra— que poco a poco se depura y “sirve para construir un sistema complicado de desigualdades, que reproduce todas las líneas de la imagen primitiva” (Poincaré, 1946, p. 104), es decir llega un momento en que la imperfecta imagen da lugar al lenguaje matemático abstracto. Cuando ha sido terminada la labor, “se ha descimbrado como después de la construcción de una bóveda; esta representación grosera, apoyo desde ahora inútil, ha desaparecido y no ha quedado más que el edificio mismo irreprochable a los ojos del lógico” (Poincaré, 1946, p. 104).⁶

Podemos usar esta metáfora para ilustrar el proceso que partiendo de las “figuras” formadas por las limaduras de hierro en torno a un imán o en torno a cargas eléctricas se eleva hacia una matematización abstracta pasando por configuraciones (mathesis) atadas a la situación particular.

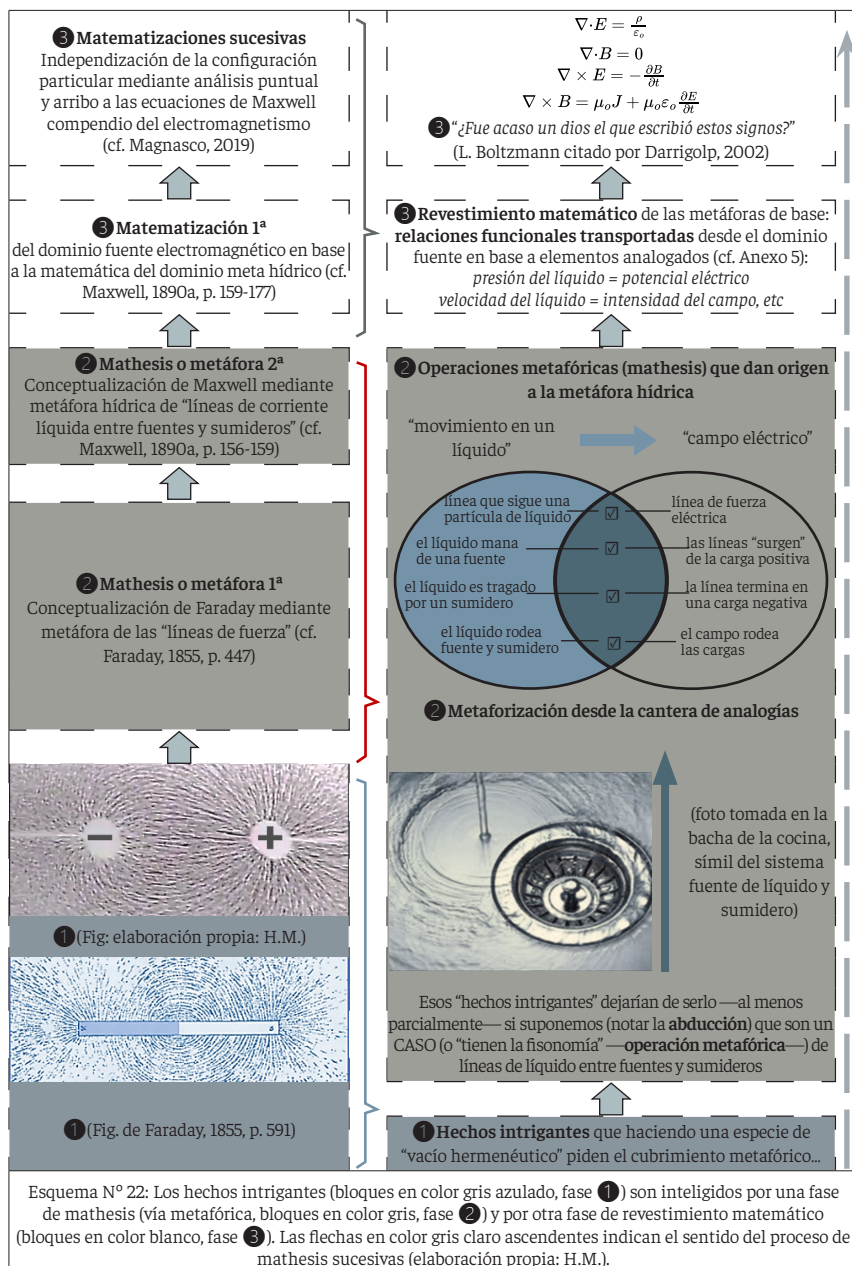
Por ejemplo la mathesis-metaforización de las “líneas de fuerza” de Faraday (cf. “Mathesis o metáfora 1^a” en *infra* Esquema N° 22) —que conceptualizan los fenómenos intrigantes en torno al imán o a las cargas— (cf. punto ① “Hechos intrigantes” en *infra* Esquema N° 22), ha quedado inicialmente “atada” a la situación particular de ese imán o de esas cargas particulares, como “impura”, “cimbrada”.

6. Como buen profesor Poincaré insiste en que la grosera imagen no debe ser olvidada: “si el profesor no recordara la imagen primitiva, si no restableciera momentáneamente la cimbra, ¿cómo adivinaría el alumno merced a qué capricho todas estas desigualdades han sido levantadas de esta manera las unas sobre las otras? La definición sería lógicamente correcta, pero no le enseñaría la verdadera realidad” (Poincaré, 1946, p. 104). Esta observación de Poincaré está muy en sintonía con nuestra tesis de la oportunidad para la docencia del recupero en ciencia de las metáforas que —como ese cimbrado— están en la base de la construcción.

Luego viene una nueva estilización con la mathesis de Maxwell, esto es, su metáfora hídrica sobre la de las líneas de fuerza, que la completa y eleva en tanto las ve en su conjunto como líneas de corriente líquida entre fuentes y sumideros... sigue de este modo el cimbrado (cf. Mathesis o metáfora 2ª en *infra* Esquema N° 22).

Luego sigue el revestimiento matemático desde la hidráulica sobre el magnetismo o la electrostática. Podemos decir que en este punto se empieza a retirar el cimbrado, en el sentido que con la estilización matemática se comienza a abandonar la situación particular.

Luego se extiende la matematización sintetizando a todo el electromagnetismo, siguiendo con la metáfora podemos decir que queda la bóveda sin ningún cimbrado, la cúpula “limpia” que es la abstracción lograda a través de la iteración de la reflexión que busca la matematización. Ofrecemos a continuación una reelaboración del esquema N° 6 del Capítulo 1, que muestra sinóptica-mente el “ascenso de la tierra al cielo” (o de lo concreto y familiar a lo abstracto) mediante el revestimiento de los hechos intrigantes (fase ①) con mathesis metafórica (fase ②) y con matemática abstracta (fase ③), se invita al lector/lectora a leerlo de abajo hacia arriba:



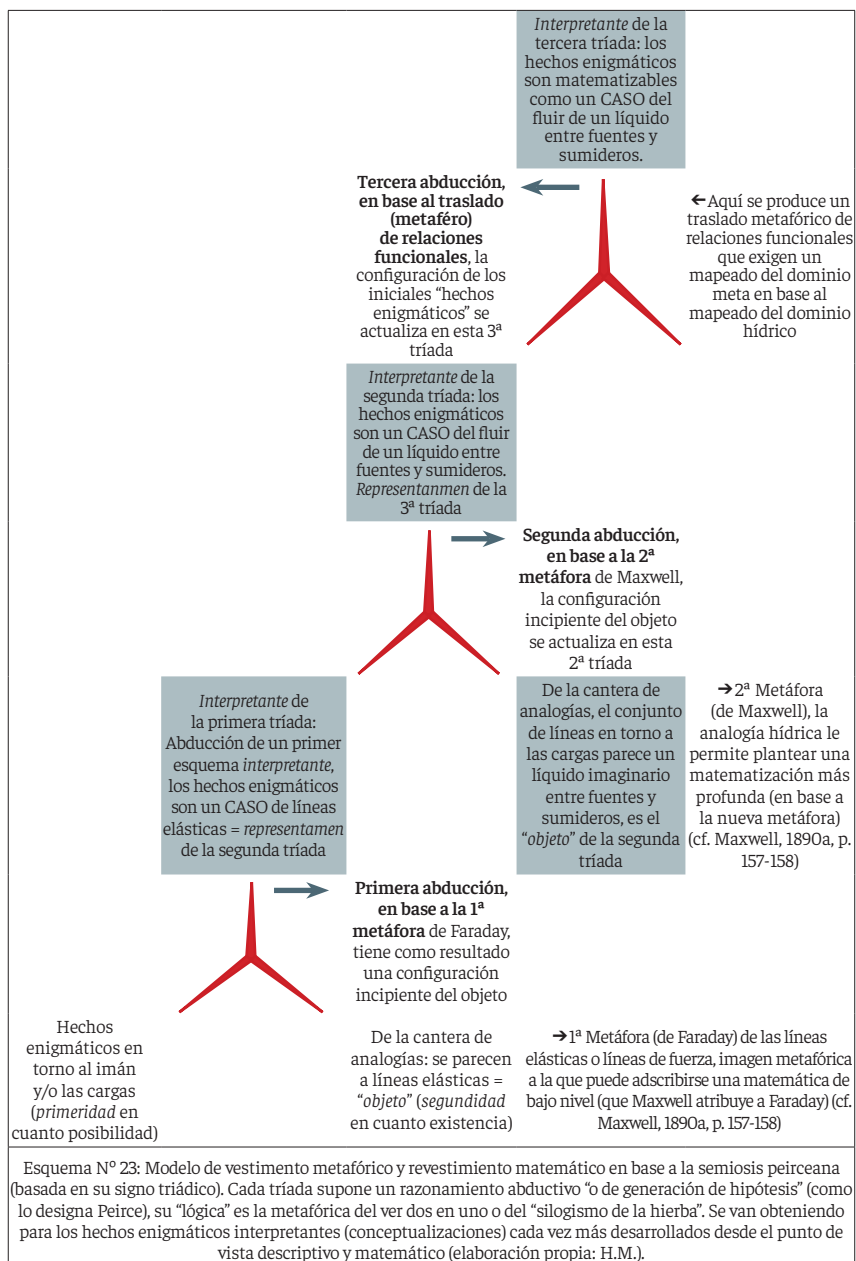
LV. VESTIMENTO METAFÓRICO Y REVESTIMIENTO MATEMÁTICO

Al modelo de “vestimento” metafórico lo hemos analizado desde el punto de vista semiótico, lingüístico, hermenéutico, faneroscópico, literario, lógico (silogismo de la hierba), semiósico distinguiendo el necesario mapa metafórico o creatural (en tanto engendrado), del territorio de una realidad plena o densa o pleromática.

Un esquema que “condensa” varios de estos aspectos es el que hemos basado en el signo triádico peirceano, cf. *supra*: *Apostilla 1: conocer es abducir* y los esquemas N° 7, N° 8 y N° 9 del Capítulo 2.

Basados en este esquema proponemos un modelo de vestimento metafórico y revestimiento matemático en base a la semiosis peirceana (que está basada en su signo triádico). Cada tríada supone un razonamiento abductivo “o de generación de hipótesis” (como lo designa Peirce). En el ejemplo del Esquema 22 tenemos dos metáforas sucesivas, la de Faraday de las líneas elásticas que comporta una matemática asociada de bajo nivel (cf. Maxwell, 1890a, p. 157-158) y la de Maxwell que es la metáfora hídrica que comporta una matemática más profunda (cf. Anexo 5). Cada metáfora está asociada a una tríada genuina (cf. Esquema N° 9: *Signo triádico, propio de los funcionamientos mentales* en Capítulo 2), en tanto esa tríada —como vimos— está vinculada a un razonamiento abductivo o de generación de hipótesis que necesita de la metáfora para obtener la REGLA de dicho razonamiento (RESULTADO + REGLA = CASO o HIPÓTESIS). Desde la 2° metáfora se realiza una nueva abducción que es la que establece relaciones funcionales en el dominio meta trasladadas (metaféro) desde el dominio fuente de la hidráulica. De nuevo,

tenemos una tercera abducción, un tercer acto creativo, obteniendo para los iniciales “hechos enigmáticos” *interpretantes* cada vez más desarrollados desde el punto de vista descriptivo (vestimiento) y matemático (revestimiento con motivo de cada metáfora o analogía establecida por el ver dos en uno). Resumimos todo esto en el siguiente esquema, que si bien está desarrollado (con fines didácticos) para el caso del vestimiento y revestimiento de Faraday y Maxwell para el caso eléctrico, tiene los elementos generales que permiten comprender cómo funciona el modelo de revestimiento matemático de la metáfora de base.



CONCLUSIONES: PROMESAS CUMPLIDAS, ANUDANDO LO QUE FALTA Y APOSTILLAS FINALES

Soñar y no realizar es necedad, y el torrente de palabras vacías es ruidoso.

Eclesiastés c. 5, v. 6, Biblia

SINOPSIS DE LO PROMETIDO Y LO REALIZADO

Al inicio de nuestro recorrido hicimos unas *Promesas de inicio de camino* (cf. *supra*: Introducción a este libro) que confiamos haber cumplido y pasamos a enumerar (en el orden propuesto en tales promesas):

(a) Respecto de la promesa referida a mostrar la pertinencia de la metáfora en el cubrimiento del “vacío hermenéutico”, es decir como mecanismo de inteligencia, creación y comunicación frente a fenómenos a primera vista desconcertantes (en tanto no se enlazan con lo conocido en determinado campo de conocimiento):

- Hemos visto el funcionamiento del mecanismo metafórico en la ciencia moderna en los capítulos 4 (*La ley de atracción universal y su base en el sistema de metáforas de Newton centrado en las de “la boleadora” y “la dilución”*) y 6 (*La metáfora como inteligencia natural científica y su revestimiento matemático desde el S XVIII hasta la síntesis electromagnética de Maxwell*) y en los anexos 1 (*Metáforas interpretativas del movimiento*) y 2 (*Metáforas implicadas en las 3 leyes del movimiento newtonianas*).
- También hemos visto el funcionamiento del mecanismo metafórico en la ciencia contemporánea en los capítulos 8 (*La dimensión artístico-metafórica de la producción científica contemporánea: sentir la belleza como verdad y realizar predicciones estéticas*) y 9 (*Reflexiones interdisciplinarias sobre la “ambigüedad artística” introducida por las metáforas en el mundo microfísico: nuevo concepto de leyes naturales*) y en el Anexo 6 (*Visualización y matematización parcial del Principio de Incertidumbre*).

- En ambos casos (ciencia moderna y contemporánea), este mecanismo ha resultado exitoso al cubrir el “vacío hermenéutico” inicial de modo pertinente (desaparición “estable” del vacío que dio origen a la operación metafórica; cf. *supra*: *Pertinencia en el “cubrimiento” del “vacío interpretativo”* en Capítulo 10).
- Respecto de tal vacío presentamos testimonios de los científicos en el Capítulo 10 (*El vacío hermenéutico producido por los hechos problemáticos a los que se enfrenta la ciencia y su cubrimiento exitoso por la inteligencia aportada por la metáfora*), como la pertinencia de su cubrimiento metafórico (también en el Capítulo 10).
- En cuanto a la “pertinencia” del cubrimiento metafórico hemos analizado dos posturas extremas en cuanto a su revestimiento matemático: la del *realismo* del modelo matemático y la del *instrumentalismo* del mismo. Nosotros hemos adoptado una postura intermedia desde la imagen de la *fusión* y construcción conjunta de sujeto y objeto en los capítulos 2 (*Apostillas sobre el modo humano de conocer, su lógica “ilógica” y lo experimentado como verdadero*), 7 (*Reflexiones epistemológicas e interdisciplinarias sobre la ciencia moderna: metáfora, realidad, matemática y metafísica*) y 10 (*El vacío hermenéutico producido por los hechos problemáticos a los que se enfrenta la ciencia y su cubrimiento exitoso por la inteligencia aportada por la metáfora*). Para no entrar en un círculo vicioso, entendemos que las apostillas del Capítulo 2, lanzadas al inicio un poco “a priori”, han quedado fundamentadas desde el recorrido realizado.
- Hemos analizado —además— las metáforas que han sido “marcos metafísicos” de la actividad de la ciencia moderna y contemporánea en los capítulos 3 (*Metáforas galileanas y baconianas: el universo es un libro escrito en lengua matemática al que hay que leer como la abeja. Crítica desde un modelo metafórico de lectura de la empiria*), 11 (*Marco metafísico de la ciencia contemporánea: la metáfora platónica del artesano leída por*

Heisenberg y la relación matemática-materia) y 12 (Las metáforas del dios constructor de máquinas y de la emanación: dos matemáticas y la revisión de la relación materia-espacio-tiempo) y en el Anexo 4 (Leibniz, Boscovich y Faraday: el paso de las partículas físico-materiales newtonianas a los puntos metafísicos inmatrimiales).

- Hemos definido y señalado la presencia de los indicadores de la producción de inteligencia, creación y comunicación en el resultado de la operación metafórica en los capítulos 1 (*La metáfora como núcleo del conocimiento diario y científico: ¿ciencia físico-matemática “dura” con bases “artísticas” blandas?*) y 7 (*Reflexiones epistemológicas e interdisciplinarias sobre la ciencia moderna: metáfora, realidad, matemática y metafísica*).

(b) Respecto de la promesa referida a mostrar que la metáfora es un mecanismo epistémicamente fundamentado de inteligencia natural, de creación y de comunicación en ciencias duras:

- Hemos presentado las ficciones de los puntos de contacto fijos con la empiria (o de partida del conocimiento sin metáforas) en el Capítulo 1 (*La metáfora como núcleo del conocimiento diario y científico: ¿ciencia físico-matemática “dura” con bases “artísticas” blandas?*).

- Hemos reflexionado sobre el proceso real del conocimiento que tiene a la metáfora como su núcleo sustantivo en los capítulos 2 (*Apostillas sobre el modo humano de conocer, su lógica “ilógica” y lo experimentado como verdadero*), 7 (*Reflexiones epistemológicas e interdisciplinarias sobre la ciencia moderna: metáfora, realidad, matemática y metafísica*) y 13 (*La lógica de la ciencia es la de la metáfora o “silogismo de la hierba”: una teoría matemático-relacional de formación de conceptos*). Como recién comentamos en el punto (a), entendemos que lo presentado como apostillas iniciales en el Capítulo 2, ha quedado fundamentado desde el recorrido realizado.

- Hemos presentado el proceso real del conocimiento que tiene a la metáfora como su núcleo sustantivo en las obras y escritos de los mismos científicos en los capítulos 4, 6, 8, 9 y 10, ya referidos en el punto (a).
- (c) En cuanto a la promesa referida a mostrar que los modelos (matemáticos) que hacen avanzar la ciencia se basan en metáforas (lo cual abre una oportunidad a la docencia para su recupero pedagógico-didáctico):
- Hemos presentado las metáforas actantes en las bases del conocimiento científico y su revestimiento matemático: metáfora newtoniana de la boleadora en el Capítulo 5 (*Matematización de las metáforas centrales que guían a Newton y pruebas empíricas sobre su modelo matemático*), en el Anexo 3 (*Revestimiento matemático de la metáfora newtoniana de la boleadora*), en el Capítulo 6 (*La metáfora como inteligencia natural científica y su revestimiento matemático desde el S XVIII hasta la síntesis electromagnética de Maxwell*) y en el Anexo 5 (*Revestimiento matemático de la metáfora hídrica por parte de Maxwell*).
 - Mostramos la influencia (o traslado metafórico) del revestimiento matemático newtoniano de la ley de gravitación en la posteridad científica en el Capítulo 6 (*La metáfora como inteligencia natural científica y su revestimiento matemático desde el S XVIII hasta la síntesis electromagnética de Maxwell*).
 - Hemos propuesto en base a los mecanismos hurgados en los mismos escritos de los científicos referidos, un modelo de revestimiento matemático de la metáfora en base a las tríadas semióticas peirceanas (semiósicas y faneroscópicas) en el Capítulo 14 (*Modelo de revestimiento matemático de la metáfora de base*).
- (d) Respecto de la promesa de mostrar que en el llamado “contexto de descubrimiento” funciona la lógica de la metáfora o “silogismo de la hierba”:

- Lo hemos concretado en el Capítulo 13 (*La lógica de la ciencia es la de la metáfora o “silogismo de la hierba”: una teoría matemático-relacional de formación de conceptos*), y lo hemos señalado a lo largo de todo el libro cada vez que explicitamos la metáfora que permitió al científico lograr inteligencia en dicho contexto (de descubrimiento).

(e) En referencia a la promesa de mostrar que hay “pertinencia empírica” en la metáfora como descriptora de lo real, es decir, que no es una mera explicación inicial ilustrativa a descartar sino que tiene que ver con lo empírico:

- Ya hemos hablado en el punto (a) de la “pertinencia” del cubrimiento metafórico. Hemos señalado las posturas tradicionales sobre tal pertinencia, en versiones “realista” e “instrumentalista”, adoptando nosotros una postura “intermedia”. Tal postura intermedia se sustenta en nuestra consideración hermenéutica y ontológica de construcción conjunta de sujeto y objeto. Recordemos que nuestra posición, entiende que la metáfora —núcleo del proceso del conocer— produce una “fusión” fecunda de los horizontes del mundo y de la vida operante que va generando tanto al sujeto como al objeto que no permanecen idénticos sino que se van transformando (sería la metáfora o proceso metafórico como un puente que genera los extremos, cf. *infra*: *Inteligencia “leer dentro” pero también “escribir dentro”*).

- En otras palabras, la pertinencia práctica la mostramos desde una unión inextricable de teoría y empiria que puede ser sintetizada por la “apostilla” de Maxwell: “las únicas leyes de la materia son las que fabrican nuestras mentes, y las únicas leyes de la mente son fabricadas —para ella— por la materia” (Maxwell citado por Campbell & Garnett, 1882, p. 244, traducción propia: H.M.). Lo reflexionamos sobre todo en el Capítulo 2 (*Apostillas sobre el modo humano de conocer, su lógica “ilógica” y lo experimentado como verdadero*, apostillas que —como hemos

dicho— han quedado validadas a lo largo del recorrido), en el Capítulo 7 (*Reflexiones epistemológicas e interdisciplinarias sobre la ciencia moderna: metáfora, realidad, matemática y metafísica*) y lo mostramos particularmente en el Capítulo 10 (*El vacío hermenéutico producido por los hechos problemáticos a los que se enfrenta la ciencia y su cubrimiento exitoso por la inteligencia aportada por la metáfora*).

(f) En cuanto a la promesa de mostrar que el “revestimiento teórico” de la metáfora es posible, es decir, que ella es un “vestimiento” (del vacío hermenéutico) al que es posible “revestir” matemáticamente en un modelo, como de hecho sucede en las obras basales de la ciencia moderna:

- Como adelantamos en el punto (c) hemos propuesto en base a los mecanismos detectados en los mismos escritos de los científicos referidos, un modelo de revestimiento matemático de la metáfora en base a las tríadas semióticas peirceanas (semiósicas y faneroscópicas) en el Capítulo 14 (*Modelo de revestimiento matemático de la metáfora de base*).

- Hemos visto más en profundidad —para aquellos que hayan optado por su lectura— los revestimientos de la metáfora de la honda de Newton en el Anexo 3 (*Revestimiento matemático de la metáfora newtoniana de la boleadora*) y de la metáfora hídrica de Maxwell en el Anexo 5 (*Revestimiento matemático de la metáfora hídrica por parte de Maxwell*), matematizaciones que son fundantes de toda la física que vendrá después.

(g) En referencia a la promesa sobre la apertura de algunas oportunidades en la docencia por parte del mecanismo metafórico de conocimiento:

- Hemos reflexionado en el inicio del camino (cf. *supra*: *Oportunidad en la enseñanza de la ciencia* en nuestra Introducción) que de validarse epistémicamente a la metáfora como real proceso

de inteligencia en ciencia (como de hecho hemos concretado), se abrirían algunas oportunidades para su enseñanza. Así, al final del recorrido podemos sugerir que la recuperación de las metáforas presentes en el “contexto de descubrimiento” serían una fecunda y oportuna “trasposición didáctica” (ya que los mismos científicos las han utilizado para arribar al saber sabio). Esta presencia de la metáfora como inteligencia natural tendiente a la comunicación (por lo familiar de la imagen del dominio fuente) nos ha acompañado en todo nuestro camino, desde la misma introducción al libro hasta el capítulo final. En contraposición hemos analizado la presentación “artificial” de la física moderna (sin metáforas y en modo axiomático-deductivo) en libros clásicos en la enseñanza de la ciencia en el nivel superior (en los capítulos 4, 5, 6 y 7) y como en el caso de la física contemporánea no hubo tiempo de artificializar la cuestión (cf. subtítulo: *Libros para estudiantes: las cartas sobre la mesa* en el Capítulo 8).

- Hemos señalado el aspecto educativo del conocimiento por intertextualidad en el Capítulo 7 (*Reflexiones epistemológicas e interdisciplinarias sobre la ciencia moderna: metáfora, realidad, matemática y metafísica*) y del conocimiento como fusión en el Capítulo 9 (*Reflexiones interdisciplinarias sobre la “ambigüedad artística” introducida por las metáforas en el mundo microfísico: nuevo concepto de leyes naturales*).

(h) En cuanto a la promesa de ofrecer —a través de nuestro recorrido— una visión de la inteligencia humana que la distinga sustantivamente respecto de la Inteligencia Artificial (en su estado actual —fines del año 2025—):

- hemos brindado una perspectiva sobre la inteligencia humana que se fue configurando y reforzando a lo largo de todo el recorrido y cuyas características notables y definitorias se apoyan en los resultados señalados en el cumplimiento de los ítems

(a), (b), (d) y (e). Resumimos estas características notables (para comodidad del lector o lectora) en *infra: Metáfora: creación e Inteligencia Natural*.

- En referencia a señalar la distinción *sustantiva* de la inteligencia humana (según nuestra perspectiva) respecto de la Inteligencia Artificial (IA), es necesario aclarar que entendemos por “sustantiva” y hacer referencia a algunas características de la IA en su estado actual. Resumimos estas características contrastantes en *infra: Anudando lo dicho con lo que falta decir sobre la Inteligencia Artificial* y para el lector o lectora que quiera profundizar ofrecemos principios matemáticos y probabilísticos del funcionamiento de la IA en el Anexo 7.
- Nuestro estudio se relaciona con la Inteligencia Artificial, en tanto la misma expresión con la que se denomina el fenómeno es una metáfora. Por lo tanto podemos lícitamente preguntarnos desde el contexto de nuestro estudio: tal metáfora ¿construye realidad genuina y ontológicamente, como la boleadora de Newton o la metáfora hídrica de Maxwell? Ya hemos visto que las metáforas suelen traicionarnos, cf. *infra: Inteligencia Artificial: la traición de las metáforas*. Para quienes quieran observar los principios matemáticos de la creatividad artificial remitimos a los títulos: *Creatividad real vs. novedad regulada matemáticamente, Forzando la creatividad artificial* y ¿*Metáforas vivas confeccionadas por la IA?* en el Anexo 7.

ANUDANDO LO QUE FALTA Y APOSTILLAS FINALES

*La forma de vida más genuinamente humana
es esta articulación inseparable de realidad
y ficción, semiosis de pensamiento y realidad,
al igual que el arco iris es a la vez manifestación
del sol y de la lluvia.*

Charles Peirce, CP 5.283, año 1868

§. *Metáfora: creación e Inteligencia Natural*

Hemos presentado al inicio del camino a la metáfora como un proceso de inteligencia natural (cf. *supra*: Introducción a este libro). Creemos que ha quedado justificada la apostilla... Porque nuestro recorrido, ha analizado como inteligentes y razonan las inteligencias más brillantes o al menos las que han logrado resultados en el progreso de la ciencia. Hemos mostrado que un aspecto sustantivo de este inteligir ha sido la operación de la creativa metáfora, que haciendo pie en la dinámica cantera de analogías, otorga la REGLA para que funcione el razonamiento abductivo o de generación de hipótesis (cf. *supra*: Apostilla 1: Conocer es abducir en el Capítulo 2).

Quizás en una época de auge de la poderosa herramienta llamada *Inteligencia Artificial*, nuestro libro muestre la operación y reflexione sobre la creativa *Inteligencia Natural*, llamada a ser —en definitiva— quien debe entrenar, gestionar con responsabilidad y corregir a la herramienta anterior. En este sentido, hemos ofrecido y fundamentado un modelo interdisciplinario de su funcionamiento.

Inteligencia “leer dentro” pero también “escribir dentro”

*La palabra “inteligencia” deriva
del latín intus legere, que significa
“leer dentro”, penetrar, comprender a fondo.
Juan Pablo II, “Regina Coeli”*

*Se ha de decir que el nombre de entendimiento
se toma del hecho de que conoce lo íntimo
de la cosa, pues entender (intelligere) es
como leer dentro (intus legere)
Tomás de Aquino, “Cuestiones disputadas sobre la verdad”*

Desde una postura realista y positivista que a priori sostiene que el mundo está dado de antemano para ser conocido o descrito científicamente tal cual es (o “en sí”¹), se ha dicho que la inteligencia puede “penetrar” dentro de las cosas y leer dentro de ellas (*intus-legere*²) su ser íntimo, es decir, captar como son realmente las cosas sin “aportarles” nada. En nuestro recorrido hemos mostrado —desde una posición hermenéutica creadora y ontologizadora— que, al

1. Este “en sí” puede ser considerado una esencia o una relación funcional, cf. *supra*: *Abstracción funcionalizante vs. sustancializante* en Capítulo 13. Recordemos que para nosotros este “en sí” es un mapa y no un territorio, o una criatura y no un pléroma...

2. Según varios estudiosos la palabra “inteligencia”, no proviene etimológicamente de “intus” y “legere” (como sostienen Tomás de Aquino, 2016, p. 143; Juan Pablo II, 1989, punto 1; Rojas, 2017, p. 8) sino de “inter” y “legere” (De Miguel y el Marqués de Morante, 1914, p. 481). Aclaran que “legere” significa primariamente “recoger” o “escoger” (Calvet, 1996, p. 91; Corominas, 1987, p. 338), y de aquí pasa a significar “leer” en tanto la lectura se ve metafóricamente como un “reunir” las letras en palabras y oraciones o “recogerlas” para elevarlas hacia la mente en tanto esta capta su significado. El prefijo “inter” se traduce como “entre”, “en medio” (De Miguel y el Marqués de Morante, 1914, p. 482), así la inteligencia es un “leer en medio de” o “escoger entre” o un discernir (“Distinguir algo de otra cosa, señalando la diferencia que hay entre ellas”, DRAE).

contrario, la metáfora como inteligencia natural “no lee dentro” sino más bien “escribe dentro” creando con fundamento (vía esquemas híbridos de una cantera de analogías que han tenido éxito y cuyas bases son somáticas) lo que la cosa termina “siendo”, su “mapa”... Así hay una creación de *ser* desde la operación metafórica de la inteligencia natural.

Tal operación metafórica arroja que los rasgos obtenidos en una primera configuración o *vestimiento* del objeto, o bien la ley o el modelo obtenido desde su *revestimiento* matemático, tienen “participación” del objeto y “participación” del sujeto, no es una “copia fiel” al modo realista recién referido. Y este tener “parte y parte” no es una yuxtaposición: hay cierta “fusión” en cuanto que en el objeto queda como “ontologizado” algo que “puso” el sujeto. En tanto que el sujeto queda también transformado por el conocimiento del objeto a través de una reconfiguración de su cantera dinámica de analogías (especie de órganos dinámicos de asimilación).³

3. Aquí como apoyo epistemológico destacamos:

- La dimensión gadameriana de la interpretación: hay una “fusión” de horizontes en el conocer que no deja igual ni a sujeto ni a objeto. Previa a la relación de conocimiento no está el “objeto” sino más bien el “horizonte del mundo” y desde el lado del sujeto el “horizonte de la vida operante”, la idea del conocimiento es la “fusión” de estos horizontes que arroja algo nuevo: el conocimiento. Lo explicitamos desarrollando la metáfora de la fusión tomada del caso de los metales (cf. *supra*: La metáfora de la fusión: consecuencias en el Capítulo 9): la fusión supone fundir o derretir metales diferentes para lograr una aleación (del fr. *aleier*, y este del lat. *alligāre*, atar) que contiene a los metales fundidos pero ahora en una integración con propiedades nuevas.

- La dimensión ricoeuriana de la interpretación: hay una dialéctica *mimesis I*, *mimesis II* y *mimesis III* que en otras palabras son procesos de prefiguración, configuración y refiguración en el conocer que no deja igual ni a sujeto ni a objeto (cf. *supra*: Invitación a la transformación en la Introducción, Apostilla 4: conocer es textualizar en Capítulo 2; Apostilla 5: la verdad tiene que ver con una fusión artística en Capítulo 2, Construcción intertextual de sujeto y objeto en Capítulo 7; Nueva definición de ciencia en Capítulo 9).

Inteligencia natural “intuitiva” o “instintiva”

*Para Peirce, el pensamiento no es un cálculo
sino un salto, una suposición. No hay ninguna certeza.
Nos dedicamos a juntar las piezas. Explicamos y revisamos.
Al haber vivido durante el siglo XIX, Peirce no llegó a
conocer los ordenadores digitales, pero anticipó lo
que iba a hacer de la IA un problema tan complicado
para todo el mundo. En realidad, se reduce a esto:
puesto que nuestro propio pensamiento se basa en
una serie desconcertante de conjeturas,
¿qué esperanza hay de que podamos programarlas?*

Erik Larson, “El mito de la Inteligencia Artificial. Por qué las máquinas no pueden pensar como nosotros lo hacemos”

Desde el inicio de nuestro recorrido hemos hecho referencia a la actividad “intuitiva” de los investigadores como un hecho embrionario fundamental con fuerza vital y potencialidad de desarrollo (cf. *supra*: *¿Cómo surgen las ideas en la ciencia?*⁴ en nuestra Introducción). La intuición, si nos guiamos por el diccionario (“Facultad de comprender las cosas instantáneamente, sin necesidad de razonamiento”, DRAE) queda “en el aire” como un mero acontecer quasi-mágico.

Creemos que a lo largo de nuestro recorrido, a esa realidad enigmática de la intuición le hemos dado contornos más definidos en su funcionamiento, como una operación metafórica engarzada en un razonamiento abductivo. Es decir, la intuición no es sin razonamiento. Hay un razonamiento escondido en la intuición que es el abductivo (cf. *supra*: *El razonamiento ignorado que funciona siempre* en Capítulo 2). Adelantábamos en nuestra Introducción

4. Nos preguntábamos retóricamente —a raíz de nuestras fuertes intuiciones iniciales sobre la metáfora— si era válido proponernos una investigación científica guiada por “intuiciones”, aclarando que la respuesta quedaría fundamentada al final del recorrido.

(cf. *supra*: ¿Cómo surgen las ideas en la ciencia?) que la intuición no era algo irracional, donde no media razonamiento alguno, sino algo fundamental para la investigación en tanto toma cuerpo en el razonamiento abductivo que tiene su médula en la creatividad de la metáfora.

Por todo esto, asociábamos la intuición así caracterizada a un instinto (cf. *supra*: *Un pensamiento sin palabras de difícil traducción a lo científico* en Capítulo 10), decíamos que el “instinto” que caracteriza al ser humano no es una especie de “programa fijo” como en el animal atado a un medio ambiente, sino un *instinto* de “creación de programas” debido a su condición desadaptada del medio en el que nace o elige vivir (cf. Gehlen, 1987 y 1993) (lo cual le exige vitalmente ser creativo). Le dimos a ese instinto una procedencia razonable llamándolo “instinto de la abducción” (cf. *supra*: *El instinto peirceano de adivinación* en Capítulo 10).

Todas las afirmaciones que vinculaban la intuición a la abducción y a la metáfora y que pueden haber sonado un tanto “raras” al inicio del camino, adquieren al final sentido, ya que hemos visto y fundado epistémicamente su operación, tanto en la ciencia moderna como en la contemporánea (sugiriendo vivamente que tal mecanismo opera siempre y es fundamental para nuestra vida y subsistencia, cf. Magnasco, 2024). Las hipótesis de la ciencia maduras en teorías verificadas han permitido un notable progreso, este libro nos recuerda la participación nuclear de la metáfora en sus bases y desarrollo. Como comentamos, al conjeturar o lanzar una hipótesis frente a unos “hechos intrigantes”, Peirce reparó en la notable y elevada capacidad de acierto de la “intuición” del científico o de la científica a través del razonamiento abductivo o *de generación de hipótesis* (cf. *supra*: *Apostilla 1: conocer es abducir* en Capítulo 2). Tal es así, que se atrevió a calificar tal operación como “instinto de adivinación” (cf. *supra*: *El instinto peirceano de adivinación* en Capítulo 10), recordemos cómo lo dice Peirce:

Un físico en su laboratorio da con un fenómeno nuevo [...] Pensemos en los *trillones de trillones de hipótesis* que pueden hacerse de las cuales sólo una es la verdadera; y con todo el físico, después de dos o tres conjeturas o, todo lo más, de una docena da muy cerca de la hipótesis correcta. Por azar no lo hubiera conseguido probablemente ni en todo el tiempo transcurrido desde que la tierra se solidificó [1988 (*El hombre, un signo*), pag. 137] (Peirce citado por Samaja, 2004, p. 85)

Nosotros, por nuestra parte, hemos desentrañado el funcionamiento de la operación metafórica que permite obtener la REGLA para que tal razonamiento abductivo pueda funcionar y generar la hipótesis.⁵

Creemos por lo compartido a lo largo de todo el libro que la creativa operación metafórica humana (basada en la dinámica cantera de esquemas híbridos o analogías que han tenido éxito) se vincula a lo que hemos llamado *inteligencia natural* y pone una clave cualitativa de delimitación frente a la poderosa fuerza de acopio e imitación de la inteligencia artificial *generativa* (ver el subtítulo siguiente). Parafraseando a Erik Larson (2022) nos preguntamos: ¿podremos programar el razonamiento implicado en la intuición humana (y la creativa operación metafórica que la sustenta)?⁶

5. Recordemos el esquema lógico del razonamiento abductivo: RESULTADO [=hechos enigmáticos]+ REGLA [obtenida por el ver *dos en uno* de la operación metafórica]= CASO o Hipótesis: “el RESULTADO es un CASO de la REGLA” cf. *supra*: Esquema N° 7 en *Apostilla 1: conocer es abducir* en Capítulo 2).

6. Erik Larson (2022) estableció que hasta el momento el razonamiento imitado por la IA es a lo más *inductivo* (hurta patrones en un cúmulo muy grande de datos que se utilizan para entrenarla) y hemos visto que lo propio de la inteligencia y de la creación humana se basa en el razonamiento *abductivo* o de generación de hipótesis.

§. Anudando lo dicho con lo que falta decir sobre la Inteligencia Artificial

Aparentemente inteligente

La ciencia de datos (la aplicación de la IA a los macrodatos) es, en el mejor de los casos, una prótesis del ingenio humano; en caso de usarla de manera correcta, nos ayudará a lidiar con el “diluvio de datos contemporáneo”. Cuando se la usa para reemplazar la inteligencia individual, tiende a estropear la inversión sin ofrecer ningún resultado.

Erik Larson, “El mito de la Inteligencia Artificial. Por qué las máquinas no pueden pensar como nosotros lo hacemos”

Entendemos que sólo podíamos hablar de una diferencia *sustantiva* entre la inteligencia natural —tal como la hemos tratado y sintetizado (cf. *supra*: *Intuición-instinto-metáfora-inteligencia natural*)— y la Inteligencia Artificial (en su estado actual) llegados al final del camino. Es en este punto del trayecto donde poseemos un panorama más justo sobre la metáfora como inteligencia natural.

Nos referimos a diferencia *sustantiva* como aquella que va más allá de la diferencia “de grado”. Esta última, la diferencia de grado, es una diferencia de escala, metafóricamente es lo que logramos con una lupa *más o menos* “potente” o con un automóvil *más o menos* veloz o con una grúa que mueve *más o menos* peso. Una diferencia sustantiva es un *salto* de nivel (hay una *discontinuidad* entre niveles), el que sólo se alcanza —siguiendo la metáfora— cambiando de herramienta: no resulta suficiente “la lupa” aunque sea más potente, ni “el automóvil”, ni “la grúa”, porque no se trata de aumentar *gradual o continuamente* (aunque se llegue a una gran escala en ese aumento) sino que se trata de otra cosa, de una discontinuidad. Usando

otra metáfora: es semejante a la diferencia entre correr y volar, entre un guepardo y un águila.

Algunos estudiosos afirman que la Inteligencia Artificial ha superado a la humana y tienen razón. Esto es evidentemente cierto desde la perspectiva comparativa “de grado” entre tales inteligencias. Ciertamente hay acontecimientos sorprendentes, jugadas “maestras” realizadas por la IA o propias de una inteligencia “superhumana”.⁷ Tales calificativos (jugada “maestra”, “superhumana”) proceden de una interpretación metafórica “nuestra” que cae en una *ilusión*, en tanto traslada a la máquina o ve reflejada en ella características que la máquina no posee (cf. *infra*: *Inteligencia Artificial: la traición de las metáforas*). De hecho, la IA escribe poemas “como” Borges sin saber escribir, pinta “como” Vang Gog sin saber pintar, vence a campeones de Ajedrez sin saber jugar al Ajedrez, etc. Pero ¿importa esto? En definitiva lo sustancial parece ser que la máquina supera al ser humano, no importa *cómo* lo haga.

Son muchos los estudiosos y desarrolladores de la IA a los que no les interesa conocer *cómo* funciona el cerebro y *cómo* se genera lo mental sino lograr que el sistema artificial *imite* un proceso

7. Por ejemplo, en el año 2016 una IA llamada AlphaGo (entrenada en el juego del Go), le ganó la partida al campeón indiscutido del juego. El cimbronazo del hecho motivó comentarios como el siguiente: “La victoria de AlphaGo demostró el potencial sin límites de la IA para lograr un dominio superhumano de habilidades otrora consideradas demasiado complicadas para las máquinas” (cf. Wakabayashi & Young, 2024, subrayado propio: H.M.).

inteligente y resuelva problemas (esta idea de “inteligencia” se remonta a los albores de la IA⁸). Dice Margaret Boden:⁹

A muchos de los investigadores de IA no les interesa el funcionamiento de la mente: van detrás de la eficiencia tecnológica, no del entendimiento científico. Aunque sus técnicas se originaron en la psicología, ahora guardan escasa relación con ella (Boden, 2017, Capítulo I, subtítulo: *Categorías principales de la IA*, Párr. 4)

Ellos no son ingenuos, el camino de lo mental es difícil de replicar ¿quién comprende tal complejidad? Como señala Vanessa Evers:¹⁰

Vemos que la IA logra proezas sorprendentes, leer la totalidad de Internet, ganar al juego del Go, dirigir una fábrica totalmente automatizada. Sin embargo, así como el físico británico Stephen

8. Respecto del *imitar* el comportamiento humano: “Alan Turing, en su famoso artículo ‘Computing Machinery and Intelligence’ (Turing, 1950), sugirió que en vez de preguntar si las máquinas pueden pensar, deberíamos preguntar si las máquinas pueden aprobar un test de inteligencia conductiva (de comportamiento), conocido como el Test de Turing. La prueba se realiza para que el programa mantenga una conversación durante cinco minutos (mediante mensajes escritos en línea, online) con un interrogador (interlocutor). Éste tiene que averiguar si la conversación se está llevando a cabo con un programa o con una persona; si el programa engaña al interlocutor un 30 por ciento del tiempo, este pasará la prueba.” (Russell & Norvig, 2008, p. 1076). Respecto de la capacidad de resolver problemas, esta es la concepción de la inteligencia del padre de la IA, Alan Turing: “Y ahí está la mayor muestra de genio por parte de Turing, y también su mayor error, consistió en pensar que la inteligencia humana se limitaba a resolver problemas.” (Larson, 2022, p. 31).

9. Prestigiosa investigadora del Departamento de Informática en la Universidad de Sussex, en los campos de inteligencia artificial, psicología, filosofía, ciencia cognitiva e informática.

10. Especialista en la compleja interacción entre las personas y los sistemas inteligentes como los robots y directora del *DesignLab*, centro científico dedicado a su investigación multidisciplinaria en la Universidad de Twente (Enschede, Países Bajos).

Hawking (1942-2018) se sentía aún muy lejos de comprender el universo, nosotros estamos muy lejos de comprender la inteligencia humana. (Evers, 2018, p. 13) (subrayado propio: H.M.)

Es decir, si hubiese alguien interesado en replicar el funcionamiento de la mente ¿cuál sería el modelo? Desde nuestra investigación hemos hecho un aporte: la cuestión debería ir encaminada por la emulación de una *inteligencia metafórica* basada en una *cantera de analogías* existencial y vivencialmente lograda... Pero esto exigiría recrear artificialmente la globalidad de la *experiencia* humana situada (cf. *infra: Modelo de encarnación del cuerpo en lo mental a través de la metáfora*).

Así como algunos investigadores y desarrolladores de la IA fijan su atención en la eficiencia lograda y no en el intento de replicar el funcionamiento de lo mental, hay otro grupo a los que les interesa “cómo” surge lo mental. Estos se han hecho conscientes de que por el camino actual se está llegando a un “techo” infranqueable (este límite está dado por los problemas relacionados con lo que constituye el “sentido común” humano, cf. Mitchell, 2024). Son los que han comprendido que para una inteligencia genuina hay que dotar a la inteligencia artificial de un “cuerpo” que “sienta” y pueda “experimentar” como el nuestro (cf. *infra: Modelo de encarnación del cuerpo en lo mental a través de la metáfora*).

Más allá de las posturas de los investigadores y desarrolladores, es importante para un uso responsable y fructífero —donde no sobrepase su naturaleza de herramienta—, *sopesar* la naturaleza del trabajo “cognitivo” de una IA con respecto a la naturaleza de la intelección humana. Porque el nivel o peso del razonamiento real de una IA es aún “muy superficial, ni siquiera es equivalente al de una rana”, estima Yoshua Bengio,¹¹ una de las celebridades mundiales del aprendizaje

11. Yoshua Bengio es uno de los principales expertos en inteligencia artificial, conocido por su trabajo pionero en aprendizaje profundo (Premio AM Turing 2018), es fundador y asesor científico de Mila, el Instituto de IA de Quebec.

profundo (*deep learning*)” (Šopova, 2018, p. 18). Es decir, se reconoce un nivel de complejidad en el razonamiento humano que es difícil de replicar.

Para algunos estudiosos optimistas, el camino hacia una superinteligencia es el que estamos transitando. La IA llegará no sólo a igualar a la inteligencia humana sino que la superará en una “singularidad”¹² a partir de la cual el ser humano ya no será necesario “y en consecuencia marginará al Homo sapiens” (Boden, 2017, Capítulo II, subtítulo: *Dimensiones que faltan*, Párr. 4). Esto entraña el peligro de caer en una confianza o ilusión que nos lleve a delegarle a la IA lo indelegable (cf. *infra*: *Inteligencia Artificial: la traición de las metáforas y Lo que le transferimos metafóricamente a la IA lo perdemos nosotros*).

Codirige el programa *Learning in Machines and Brains* del Instituto Canadiense de Investigación Avanzada (CIFAR). Es de destacar que Bengio ha sido considerado por la Revista *Times* en 2024 y 2025 como una de las 100 personalidades más influyentes en el ámbito de la IA. Listas disponibles en: [The 100 Most Influential People in AI 2024 | TIME](#) y <https://time.com/collections/time100-ai-2025/>

12. Estas teorías se basan en el camino inductivo del progreso exponencial de la tecnología, esto es hay una ley exponencial que se dio en el pasado y se seguirá dando en el futuro. Para ellos no sólo la IA se igualará a la humana sino que la superará en una “superinteligencia”. Por ejemplo, según Larson (Larson, 2022), Raymond Kurzweil (autor de *La era de las máquinas inteligentes*, *La era de las máquinas espirituales* y *La singularidad está más cerca*), cree que “la inteligencia de nivel humano en un ordenador se encuentra a pocas décadas de distancia, quizá menos. Las curvas de crecimiento exponencial nos sorprenden. Kurzweil etiquetó esa idea como ‘ley de rendimientos acelerados’ (LOAR en sus siglas inglesas) y la usó como premisa en un debate cuya conclusión fue que la IA completamente humana llegaría en 2029 y a continuación, a través de una serie de procesos de carga automática hacia máquinas más inteligentes, la superinteligencia lo haría hacia el año 2045. La superinteligencia marcaba el punto sin retorno, el lugar donde la senda del progreso desaparece en lo desconocido, en la singularidad.” (p. 53-54). El problema es el nivel de “fe religiosa” que requiere aceptar la verdad de la premisa.

Modelo de encarnación del cuerpo en lo mental a través de la metáfora

*La cuestión de saber si una máquina puede
sustituir al hombre en realidad es absurda.
Es el organismo vivo quien da un sentido, no el cálculo.
Muchos investigadores en IA están convencidos
de que la diferencia entre la inteligencia viva y
la inteligencia artificial es cuantitativa,
cuando en realidad es cualitativa.
Miguel Benasayag, “¡El cerebro no es el que piensa!”*

Hemos dicho que hay investigadores y desarrolladores de la IA que entienden que la diferencia sustantiva entre una IA y la inteligencia humana está dada por la ausencia o no de la “experiencia corporal” situada:

La encarnación o embodiment es vivir en un cuerpo vivo situado y partícipe activo de un medio dinámico [...] la inteligencia genuina se basa en el cuerpo, ninguna IA fuerte en pantalla podría ser realmente inteligente. Incluso si el sistema en pantalla es un agente autónomo acoplado estructuralmente a un medio físico, no contaría (a pesar de Franklin¹³) como encarnado (Boden, 2017, Capítulo VI, subtítulo: *No solo el cerebro, el cuerpo también*, Párr. 3 y 4)

Hemos analizado a lo largo del libro que en el contexto de descubrimiento científico operaba una experiencia metafórica que resumimos en un “ver” dos en uno. Este “ver” era un ver físico *fusionado* con un ver intelectual. Así Newton *vio* la atracción Tierra-Luna como

13. Se refiere a Stan Franklin que en su obra “Agentes autónomos como IA encarnada” (Franklin, 1997) desarrolla la robótica situada pero se pregunta Boden: “¿tienen cuerpos los robots? ¿O intereses? ¿O formas de vida? ¿Están vivos siquiera?” (Boden, 2017, Capítulo VI, subtítulo: *No solo el cerebro, el cuerpo también*, Párr. 5).

la “tensión de una cuerda”, Euler *vio* los fenómenos en torno al imán como “viento en torbellino”, Faraday *vio* los fenómenos magnéticos y eléctricos como producidos por unas “líneas elásticas” y Maxwell *vio* esos fenómenos como un “escurrimiento líquido”. ¿Puede “ver” la IA de este modo metafórico? (para el lector o lectora que lo desee, cf. los subtítulos *Forzando la creatividad artificial* y *¿Metáforas vivas confeccionadas por la IA?* en Anexo 7). En este sentido, el especialista en *visión artificial* Andrej Karpathy,¹⁴ tomó una foto de la vida diaria y analizó en la escena todo lo que él “veía”, se dio cuenta que el nivel de supuestos que tenía su “visión” de la escena (provenientes de una trayectoria de experiencias vividas) sería muy difícil de reproducir:

Una conclusión aparentemente ineludible para mí es que puede que [...] necesitemos la corporalidad, y que la única manera de construir ordenadores que puedan interpretar escenas como nosotros es dejar que tengan todos los años de experiencia (estructurada, temporalmente coherente) que tenemos, la capacidad de interactuar con el mundo y una mágica arquitectura de aprendizaje activo e inferencia que casi no puedo ni imaginar cuando pienso en retrospectiva sobre lo que debería ser capaz de hacer (Karpathy, citado por Mitchell, 2024, Capítulo 15, subtítulo: *Estamos verdaderamente muy lejos*, Párr 10)

Los modelos de IA basados en un concepto de inteligencia *separada* de un cuerpo sensible son una genial pero a la vez insuficiente emulación de la inteligencia humana:

14. Experto en aprendizaje profundo y visión por ordenador exdirector de los trabajos de IA en Tesla. Es de destacar que Karpathy ha sido considerado por la Revista Times en 2024 como una de las 100 personalidades más influyentes en el ámbito de la IA. Lista disponible en: [The 100 Most Influential People in AI 2024 | TIME](#)

La forma en que las personas se comunican entre sí y llegan a entender el mundo que las rodea es un proceso sumamente complicado de sintetizar. Los modelos de IA disponibles o previstos se inspiran en el cerebro humano o en una parte de su funcionamiento, pero no constituyen un modelo plausible del mismo [...] Mientras sólo sepamos reproducir o superar determinadas funciones en lugar de crear esta globalidad de la inteligencia humana colocada en el rico contexto de la vida cotidiana, existen pocas posibilidades de que podamos asistir a la plena integración de los seres humanos y de las máquinas. (Evers, 2018, p. 13) (subrayado propio: H.M.)

Una diferencia clave entre la inteligencia natural y la artificial —entonces— la observamos en el hecho de que nuestra intelección está “encarnada” (cf. Lakoff & Núñez, 2000; Muñoz Tobar, 2010; GPU, 2008). Desde la perspectiva de nuestro estudio esta “encarnación” toma cuerpo en tanto se basa nuclearmente en un organismo conceptual metafórico que tiene sus bases en *lo corporal* —no en el cerebro sino en el cuerpo—.

Esto es, hemos visto que la *cantera de analogías* o esquemas sobre la que opera la metáfora se genera en la *experiencia* de un ser que posee (o es) cuerpo desde los avatares diarios de su vida física, emocional,¹⁵ social, cultural. En nuestro libro sobre la metáfora como mecanismo creativo (Magnasco, 2024) profundizamos teóricamente

15. Hemos dicho más arriba en referencia a cómo lo emocional y lo físico se reflejan en nuestra interpretación y comunicación: “Desde la experiencia física (directa) que da origen al esquema ‘arriba-abajo’ se producen traslados metafóricos que nuestro lenguaje revela, Lakoff & Johnson señalan, como un ejemplo, la presencia del esquema: ‘feliz es arriba; triste es abajo’ y ponen algunos ejemplos que solemos usar: ‘eso me *levantó* el ánimo [...] *Caí* en una depresión [...]’. Los autores señalan la ‘base física’ de estas asignaciones metafóricas de sentido: ‘Una postura inclinada hacia abajo acompaña a la tristeza y a la depresión, una postura erguida acompaña a un estado emocional positivo’ (Lakoff & Johnson, 2007, p. 51). Debido a su naturaleza espacial, estas metáforas se denominan

en esta temática¹⁶ —que hemos completado aquí desde una perspectiva más empírica, observando su operación concreta en las producciones de la ciencia basadas en la metáfora—.

Recordemos que hay experiencias *no metafóricas* de base *somática* (esquemas “arriba-abajo” —base de las metáforas *espacializadoras*— y “dentro-afuera” —base de las metáforas *sustancializadoras*—, cf. *supra*: *Necesaria base somática del organismo conceptual* en Capítulo 1) que constituyen el “dominio fuente” primero de un “organismo” complejo de metaforizaciones que van dando sustancia a lo mental (cf. *supra*: Esquema N° 5: *Relaciones básicas en el organismo conceptual metafórico* en Capítulo 1). Desde la literatura angloparlante la cognición encarnada se refiere con la locución *embodiment* en tanto *lo mental* tendría su origen en lo corporal (cf. Magnasco, 2024). Referimos que esta es una diferencia clave con la Inteligencia Artificial en su estado actual, en tanto le falta un cuerpo como el nuestro (que experimenta con el mundo, sintiendo por ejemplo “dolor”). Esto es tenido cada vez más en cuenta por los estudiosos y desarrolladores de la IA:

Una de las críticas más fuertes a estos modelos no corpóreos se basa en que un agente inteligente necesita un cuerpo para poder tener experiencias directas con su entorno (diríamos que el agente está situado en su entorno) en lugar de que un programador proporcione descripciones abstractas de dicho entorno codificadas mediante un lenguaje de representación del conocimiento. Sin un cuerpo, estas representaciones abstractas no

metáforas *orientacionales* o *espacializadoras*.” (cf. *supra*: *Necesaria base somática del organismo conceptual* en Capítulo 1).

16. Decíamos allí: “Hemos visto (cf. *supra*: *La base no metafórica del organismo metafórico* y *Ampliando la base somática del organismo metafórico*) que los procesos metafóricos inteligibilizadores tienen una base emocional-somática. Así, de algún modo, ‘el cuerpo está en la mente’ y la ‘cognición está encarnada’” (Magnasco, 2024, p. 228).

tienen contenido semántico para la máquina (López de Mántaras Badía & Meseguer González, 2017, subtítulo: *Los principales modelos en inteligencia artificial: simbólico, conexionista, evolutivo y corpóreo*, Párr. 5)

Los que desconsideran esta última cuestión se basan —inconsistentemente o no— en el dualismo de René Descartes muy influyente en Occidente. En el siglo XVII, Descartes plantó la idea de que nuestro cuerpo y nuestro pensamiento son sustancias separadas e independientes: *res cogitans* o sustancia pensante y *res extensa* o sustancia material, ambas incomunicadas, separadas por una grieta insalvable.

Todo nuestro trayecto ha intentado mostrar como esta cuestión cartesiana no se condice con la idea de inteligencia como *fusión* metafórica y como un *experimentar* vitalmente una cosa en términos de otra. Quienes desconsideran la importancia de un cuerpo situado y sensible al momento de pensar la inteligencia humana, están adoptando la tesis de Descartes. Como establece Melanie Mitchell:¹⁷

asumiendo que unos ordenadores incorpóreos pueden llegar a alcanzar una inteligencia general [es decir humana]. Sin embargo, un pequeño segmento de los profesionales de la IA ha defendido sistemáticamente la llamada hipótesis de la corporeidad: la premisa de que una máquina no puede alcanzar un nivel de inteligencia humano sin tener algún tipo de cuerpo que interactúe con el mundo. (Mitchell, 2024, Capítulo 15, subtítulo:

17. Profesora residente del Santa Fe Institute (<https://santafe.edu/>). Su trabajo actual conecta los campos de la inteligencia artificial, la ciencia cognitiva y los sistemas complejos. Se interesa especialmente por comprender el papel y los mecanismos de la abstracción, la creación de analogías y el razonamiento en la inteligencia humana y artificial.

Estamos verdaderamente muy lejos, Párr. 10) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

Es decir, una inteligencia de nivel humano sólo sería pensable en una máquina que tenga un cuerpo y actúe en el mundo. “Como Karpathy,¹⁸ casi no puedo ni imaginar qué avances harían falta para construir una máquina así. Pero, después de muchos años lidiando con la IA, el argumento de la corporalidad me parece cada vez más convincente.” (Mitchell, 2024, Capítulo 15, subtítulo: *Estamos verdaderamente muy lejos*, Párr. 10).

Como hemos dicho, desde nuestro estudio hemos ofrecido un modelo de encarnación del cuerpo en lo mental, a través de la metáfora.¹⁹ Y hemos visto el proceso creativo profundamente “encarnado” en tanto la metáfora es un *experimentar* (sentir fusionalmente) una cosa en términos de otra, un trasladar experiencias vitales sobre otras experiencias para darles sentido, significación, para escribir dentro de ellas de un modo creativo único. Una creatividad entendida de este modo ¿puede reproducirse artificialmente? (para el lector o lectora que lo desee, ver en el Anexo 7 el subtítulo: *Creatividad real vs. novedad regulada matemáticamente*).

18. Científico al que ya hemos nombrado, experto en *Deep Learning* y visión artificial, exdirector de IA en Tesla y considerado por la revista *Times* como una de las 100 personalidades más influyentes en IA en el año 2024.

19. Para profundizar ver los títulos: *Experiencia de protagonismo: condición del metaforizar*; *Construcción conjunta de sujeto y objeto por la metáfora*; *El Factor Delta: superando la grieta mente-cerebro*; *“Fusión” de la realidad con el observador a través de sus metáforas*; *Esto no es una pipa*, en Magnasco, 2024.

Inteligencia Artificial: la traición de las metáforas

*El silencio no puede ocultar
nada... las palabras sí*
August Strindberg, "La sonata de los espectros"

*La inteligencia viva no es una calculadora.
Es un proceso que articula la afectividad,
la corporeidad, el error. La inteligencia humana
no es pensable fuera de todos los demás procesos
cerebrales y corporales. A diferencia del hombre o
el animal, que piensa con la ayuda de un cerebro
en un cuerpo, él mismo inscrito en un entorno,
la máquina produce cálculos y predicciones
sin poder darles un significado*
Miguel Benasayag, "¡El cerebro no es el que piensa!"

*La IA no debe usurpar los ámbitos propios
de la inteligencia humana... La propensión
de la IA a generar contenidos con errores
y respuestas cuestionables debería ser
transparente para los usuarios*
Unesco, "Guía para el uso de IA generativa en educación e investigación"

Hemos hecho referencia a un abuso metafórico (basado en la metáfora de la partícula) que llevó a interpretar el comportamiento de los electrones como si de seres con *consciencia* se tratara (cf. *supra*: *La traición de las metáforas* en Capítulo 8). Reparemos en que tal consciencia no era un atributo de los electrones sino una proyección metafórica o interpretación nuestra un tanto apresurada.

En tal abuso metafórico —y sin entrar en temas filosóficos que no hemos abordado en este libro sobre qué *es* la consciencia—, la "consciencia" de los electrones era entendida como lo dice

el diccionario: un “conocer”²⁰ su situación o un “darse cuenta”²¹ o “advertir” o “percatarse” de su situación (por parte de dichas “partículas”) y sobre cómo *debían comportarse* en consecuencia “en una situación o en otra”.

Hay que admitir cierta tendencia al antropomorfismo en el ámbito de la comunicación por razones de simplicidad (como cuando decimos que la computadora “nos pide algo”) y en la interpretación de hechos complejos cuando no poseemos un panorama más completo que ponga nuestros “pies en la tierra” (en nuestro caso, la complementariedad de la metáfora de la *pelotita* con la metáfora de la *ola*, desinstalaba al fenómeno llamado electrón de una posición antropomórfica consciente). Este último caso no se da en hechos simples, es decir, hay hechos simples a los que no le atribuimos “inteligencia” o “consciencia”, por ejemplo, sería raro decir que la cerradura *reconoce* la llave (pero sí diríamos que la computadora no *reconoce* la contraseña).

En otras palabras, una interpretación antropomórfica sobre hechos complejos nos lleva a ver “más de lo que hay” y a caer en una *ilusión ontológica* en tanto no crea realidad (cf. *supra*: *Apostilla 6: las innovaciones semánticas son también ontológicas* en Capítulo 2 y la pertinencia de la metáfora en el cubrimiento del *vacío hermenéutico* y su *pertinencia empírica* como base de la explicación científica²²). Ver “más de lo que hay” es un claro ejemplo de un ir a contramano de la interpretación metafórica científica que no se apura a sacar conclusiones (como la *araña* o la *hormiga* de Bacon) y sigue pensando y experimentando como la *abeja* (cf. *supra*: *Metáfora de las hormigas, las arañas y las abejas* en Capítulo 3).

20. “Consciencia: f. Conocimiento inmediato o espontáneo que el sujeto tiene de sí mismo, de sus actos y reflexiones.” (RAE)

21. “Darse cuenta de algo: verb. Advertirlo, percatarse de ello.” (RAE)

22. Pertinencias prometidas en la *Introducción* y cumplidas a lo largo del recorrido como en estas *Conclusiones* señalamos.

Muchas personas recurren a la IA generativa basada en redes neuronales artificiales entendiendo que se trata de una inteligencia que “sabe más” que la propia, lo cual le genera “confianza” en sus respuestas y consejos. Después de nuestro análisis sobre la inteligencia natural: ¿Hemos de “confiar” también nosotros en las respuestas y consejos de la IA? Depende de cómo entendamos “confiar”: no se trata de hacerlo “ciegamente” como si de “*alguien omnisciente*” (o de una inteligencia superhumana) se tratara, sino de confiar como confiamos en una *herramienta* a la que operamos nosotros (herramienta que en este caso “maneja” temas según su entrenamiento en determinado tema).

La denominación “inteligencia artificial” es una metáfora que puede llevar a confusión, porque el estado actual de funcionamiento de una IA no implica comprensión, ni creatividad humana, ni “consciencia” (en el sentido de un “darse cuenta” o “percatarse” de lo que está haciendo):

A los GPTs de texto a veces se les denomina peyorativamente ‘loros estocásticos’ porque, como se ha señalado antes, aunque pueden producir textos que parecen convincentes, ese texto suele contener errores y puede incluir afirmaciones dañinas (Bender *et al.*, 2021). Esto ocurre porque los GPT solo repiten patrones lingüísticos hallados en sus datos de entrenamiento (normalmente texto obtenido de Internet), empezando por patrones aleatorios (o “estocásticos”), y sin comprender su significado, del mismo modo que un loro puede imitar sonidos sin comprender realmente lo que dice. (Unesco, 2024, p. 16)

La IA “explota” —de algún modo— que los seres humanos tendemos a confundir *apariencia* de inteligencia con *conducta* inteligente (recordar la conciencia inteligente atribuida al electrón) y conducta inteligente con *mente*. Es decir, tendemos a atribuir cualidades humanas a sistemas que solo *simulan* comportamiento

inteligente (para observar la simulación matemático-estocástica ver Anexo 7). Algunos científicos proponen términos alternativos para evitar esta confusión como “Sistemas de aprendizaje estadístico”²³ (lo cual es más justo y preciso, pero menos comercial) o “Máquinas de imitación conductual”²⁴ (para enfatizar que no hay real comprensión).

Esto es: en su estado actual como *herramienta* es maravillosa para quien la sabe utilizar de ese *modo*²⁵ pero como *inteligencia* no es más que una “traición de la metáfora” (trasladar —*metaféro*— propiedades sustantivas humanas a la máquina) es decir, nos lleva a ver “más de lo que hay” (salto sustantivo). Esto último puede ser peligroso en algunos contextos:

Más allá de sus capacidades, GPT-4 tiene limitaciones similares a las de los GPTs precedentes. Sigue sin ser totalmente confiable (“alucina” hechos y comete errores de razonamiento). Se debe tener mucho cuidado al utilizar los resultados de los modelos lingüísticos, sobre todo en contextos de alto nivel, debiéndose seguir un protocolo exacto (como la revisión humana, la fundamentación con contexto adicional o evitando los usos de alto

23. Estos sistemas “inteligentes” son máquinas estadísticas, es decir, identifican patrones probabilísticos (por ejemplo: a continuación de la palabra “cielo”, hay una alta probabilidad de que siga la palabra “azul”) para generar respuestas “coherentes” para quien las interpreta, pero no hay razonamiento simbólico ni comprensión. Solo optimizan matemáticamente sus respuestas (cf. Anexo 7 para el tratamiento matemático).

24. Términos como “*machine learning*” o “*deep learning*” se diseñaron para distanciarse de la fría estadística que funciona en el interior de la “caja negra” (que para muchos de nosotros es dicho sistema automático) y sonar más atractivo. Si nos hacemos conscientes que ChatGPT solo predice la siguiente palabra en una cadena de palabras previas (es un modelo de generación de texto autorregresivo, cf. Anexo 7), para muchos perdería su encanto... aunque sea verdad.

25. Cuando *nos* “ahorra” mucho tiempo en algunas tareas y puede *sugerirnos* ideas. Resaltamos en *itálicas* que el *agente* siempre somos *nosotros*...

nivel) que se corresponda con las necesidades de un caso de uso específico. (Unesco, 2024, p. 12)

Decir que un sistema “aprende estadísticamente de casos pasados” es más honesto que afirmar que “tiene inteligencia”, porque reduce expectativas mágicas (como cuando se dice que la IA puede diagnosticar una enfermedad mejor que un médico) y evita usos peligrosos aclarando limitaciones (solo reconoce patrones, no “interpreta” síntomas). Esta “peligrosidad” no se ha superado hasta ahora, Melanie Mitchell —por ejemplo se pregunta— ¿Por qué los chatbots de IA nos mienten? dando ejemplos actuales y muy preocupantes del fenómeno (cf. Mitchell, 2025). La prestigiosa investigadora reflexiona:

Las soluciones a estos problemas no son evidentes. Una medida sensata sería aumentar la alfabetización en IA; todas las personas que utilizan estos sistemas deberían estar informadas y recordarles constantemente que sus solicitudes podrían dar lugar a respuestas propensas a errores, inventadas o desali- neadas, así como a acciones potencialmente peligrosas en el caso de los agentes de IA. Si bien se ha investigado considerablemente para encontrar soluciones tecnológicas a estos problemas, aún no existen métodos eficaces para prevenirlos (Mitchell, 2025, Párr. 18) (traducción propia: H.M.)

Es decir, reconociendo los efectos fantásticos de las llamadas metafóricamente “redes neuronales”²⁶ base de la IA, debemos ser

26. Es de destacar que sus autores pioneros, John Hopfield y Geoffrey Hinton, han recibido en el año 2024 el Premio Nobel de Física. “Los galardonados [...] utilizaron herramientas de la física para construir métodos que ayudaron a sentar las bases del potente aprendizaje automático actual. John Hopfield creó una estructura que puede almacenar y reconstruir información. Geoffrey Hinton inventó un método que puede descubrir propiedades de los datos de forma independiente,

responsables, evitando rendirse ante la fantasía *concibiendo* la cosa como aquello que no es: *alguien* (y confiarle lo que no puede recibir —todo se recibe al modo del recipiente— ni tampoco darnos).

Lo que le transferimos metafóricamente a la IA lo perdemos nosotros

*Bueno es saber que los vasos / nos sirven para beber;
lo malo es que no sabemos / para qué sirve la sed.
Antonio Machado, “Proverbios y cantares”*

*Los espejos... son abominables...
Jorge Luis Borges, “Tlön, Uqbar, Orbis Tertius”*

Una metáfora sobre la IA que podríamos generar para comprender lo que está pasando, es la de un “espejo apropiador de imagen”. Mientras más cosas nuestras —humanas— veamos reflejadas *ilusoriamente* en ese espejo que es la IA más cosas nuestras le confiaremos o trasladaremos (*metaféro*). El peligro es el “monopolio” de la creatividad transferido a la máquina (cf. Foer, 2017).

Al proyectar nuestra humanidad en la IA, terminamos errando en la conclusión: “*Si esta máquina puede hacerlo, ¿qué tiene de especial lo humano?*”. Y a partir de aquí deslizarnos en un proceso de descargo de lo humano en la máquina. Como decíamos más arriba, si la máquina escribe mejor que nosotros, pues no escribamos más o si puede resumirnos textos pues no leamos más (todo esto es una gran pérdida para la singularidad humana situada, al perder la oportunidad de crear cuando leemos y escribimos).

Otra metáfora en este sentido “deshumanizador” es la de “la colonización”. Manteniendo la IA —sin ilusiones— en el rango de herramienta que puede ayudar y también fallar, podemos hablar de una

y que ha cobrado importancia para las grandes redes neuronales artificiales que se utilizan actualmente” (Davour *et alii*, 2024, p. 1, traducción propia: H.M.).

hibridización hombre-máquina. Pero cuando la ilusión del “espejo apropiador de imagen” se hace presente, lo que se produce es una *colonización* de la máquina sobre el hombre. Dice Miguel Benasayag:²⁷ “lo que estamos presenciando no es tanto la hibridación, sino la colonización de la vida por la máquina” (Benasayag, 2018, p. 17). Hace referencias a que el apoyo en la máquina muchas veces produce atrofas, es el caso de los autómatas que nos guían como el GPS:

A fuerza de externalizar, muchas personas no recuerdan nada. Tienen problemas de memoria que no resultan de patologías degenerativas. Tomemos, por ejemplo, el caso del sistema navegación GPS: hemos observado taxistas en París y Londres, dos ciudades laberínticas. Mientras que los taxistas londinenses se orientaban por sí mismos, los parisinos usaban sistemáticamente sus respectivos GPS. Después de tres años, las pruebas psicológicas demostraron que los núcleos subcorticales que cartografían el tiempo y el espacio se atrofiaban en estos últimos [...] Esto es colonización: el área se atrofia porque la función se delega sin ser reemplazada por ninguna otra” (Benasayag, 2018, p. 17)

Cuanto más ilusoriamente brillante parezca el artificio, más opaca puede volverse nuestra propia luz. La tecnología debería ayudarnos a comprendernos en nuestra auténtica originalidad, a sentirnos *más humanos*, no a dudar sobre la posibilidad real de un mecanismo de reemplazo. Aquí, la metáfora de la “Inteligencia” aplicada a la máquina artificial, estaría traicionándonos.²⁸

27. Filósofo y psicoanalista argentino. Ha publicado entre otras obras: *Cerveau augmenté, homme diminué* (El cerebro aumentado, el hombre disminuido, 2016) y *La singularité du vivant* (La singularidad de lo viviente, 2017).

28. Debemos aprender la lección de la historia, para algunos pensadores las 1ª y 2ª revoluciones industriales deshumanizaron laboralmente al obrero convirtiéndolo en “extensión de la máquina”. Ahora, en la 4ª revolución, la IA podría

Estas metáforas del espejo “apropiador” de imagen, o del “monopolio” de la creatividad (Foer, 2017) o de la “colonización” (Benasayag, 2018) llevan a replantearnos responsablemente un uso inteligente y no atrofiante en educación:

En la educación, los desarrolladores e investigadores han empezado a pulir un modelo fundacional para desarrollar “EdGPT”. Los modelos EdGPT se entrenan con datos específicos para fines educativos [...] Es fundamental señalar que, a menos que los modelos y el enfoque subyacentes de la IAGen cambien significativamente, EdGPT podría seguir generando errores y mostrar otras limitaciones. Por ello, sigue siendo importante que los principales usuarios de EdGPT, especialmente docentes y estudiantes, adopten una perspectiva crítica frente a cualquier resultado. (Unesco, 2024, p. 13)

Conclusión paradójica y aporte

Hasta aquí, mientras la inteligencia artificial imposita²⁹ su lenguaje para parecer humana o subjetiva, la ciencia humana imposita su lenguaje para parecer no humana u objetiva. En otras palabras: detrás de la “humanidad” de la Inteligencia Artificial subyace un lenguaje matemático, mientras que detrás del lenguaje matemático de las producciones de la ciencia subyace la humanidad de la metáfora.

Pensamos que nuestro aporte en este tema ha sido comprender —al menos desde nuestra perspectiva metafórica— cómo funciona la creatividad, algo considerado “misterioso”:

La creatividad (la capacidad de producir ideas o artefactos que sean nuevos, sorprendentes y valiosos) es el cénit de

deshumanizar la mente convirtiéndola en “extensión de un algoritmo” que parecería sustituirla fácilmente.

29. Impositar: “colocar” la voz (del italiano *impostare* “colocar”).

la inteligencia humana y es necesaria para una IAF [Inteligencia Artificial Fuerte] a nivel humano. Pero se la suele considerar misteriosa. No está claro cómo se les ocurren ideas nuevas a las personas... (Boden, 2017, Capítulo III, subtítulo: *Creatividad*, Párr. 1) (aclaración entre corchetes propia: H.M.)

§. *La humanidad que subyace en la ciencia*

*Dice la razón: Tú mientes. /
Y contesta el corazón: Quien miente eres tú, razón, /
que dices lo que no sientes.*
Antonio Machado, “Profesión de fe”

*Me asusta este mundo con su mentalidad
robótica y su espíritu de hormiguero...
Yo he nacido para jardinero. Me despido*
Antoine de Saint-Exupéry, “Carta inédita”

*Creó, pues, Dios al hombre a imagen suya,
a imagen de Dios lo creó; varón y mujer los creó.*
Génesis c. 1, v. 27, Biblia

Hemos transitado un camino que se inició con las metáforas de la boleadora y la dilución de la mecánica y que transitando por la de las “fibras elásticas” e hídrica del electromagnetismo, ha finalizado con la metáfora de las “cuerdas vibrantes” de la física cuántica. La complejización matemática de ese “libro de la naturaleza” ha ido creciendo pero las metáforas de base de su lector han seguido operando creativamente y disruptivamente desde la vida de todos los días. Debajo de las maravillas matemáticas que nos asombran y deslumbran subyace ese núcleo vivo, creativo y fecundo, propio de nuestra humanidad.

Hemos hecho referencia a las posibilidades abiertas a la docencia por esa inteligencia natural comportada por la metáfora. Ella es una *perspectiva sobre lo humano* —especie de *regalo* de los *dioses*— cuyas propiedades hemos espigado en torno al proceso artísticamente subjetivo de la metáfora. ¿Damos lugar³⁰ a esta perspectiva humana y sus concomitancias creativas y disruptivas? Sería una oportunidad seguramente muy bien utilizada por los potenciales “nuevos” Albert Einstein y por las “nuevas” Marie Curie³¹ que se atrevieron a pensar “fuera de la caja”.³²

Esta humanidad que subyace *puja* el nacimiento de un sujeto que es mucho más que “racionalidad” (mero espejo de “objetos” de conocimiento matematizados y consumibles). ¿Quién *es* ese o esa que “aprende”? ¿Tiene la posibilidad de sentir, *crear* y también enseñar? ¿Le es impuesto o inoculado —*con discursos en distintos lenguajes*— un tipo de conocimiento como “más importante” (matemático, duro, productivo) en detrimento de que otro (artístico, blando, “poco productivo”)?

La humanidad que subyace llama a ocupar su lugar en el *proceso inteligente* y no tanto en el *resultado*. Su sitio en lo *razonable* y no tanto en lo *racional*. Su sitio en la *lógica mayor* y no tanto en la *menor*. Su estancia en el *metaforizar* y *abducir* y no tanto en el *consumir* conocimiento-matematizado. Su lugar propio en el gozo del descubrir *subjetivo* y no tanto en el ajeno y bien trabado conocimiento *objetivo* de otros. Su lugar en el sentir *fusionalmente* lo verdadero

30. Ante la urgencia legítima de generar “graduados” según los estándares técnicos o de habilidades hoy demandados.

31. O Caroline Herschel (1750-1848) o Ada Lovelace (1815 y 1852) o Lise Meitner (1878-1968) o Creola Katherine Johnson (1918-2020) y tantas otras geniales científicas. Este trabajo y sus fuentes tienen una gran deuda con ellas.

32. Metáfora que se ha lexicalizado y se refiere a pensar creativamente, de manera no convencional o desde una nueva perspectiva. Se cree que esta metáfora tiene su origen en la solución del clásico problema de “los nueve puntos” cuyos contornos forman imaginariamente una caja. Justamente la solución consiste en borrar estos límites imaginarios.

y no mirarlo a través de la *disyunción* metodológica sujeto-objeto. Su sitio en la verdad experimentada en primera persona como *fundamento* y no tanto en la *verdad objetivada* “ajena”.

En definitiva la humanidad que subyace llama a ocupar su lugar de honor como *inteligencia natural*, como *demiurgo* divino creador y re-creador de nuestro mundo científico y diario.

POST SCRIPTUM: TRANSFORMACIONES

El hombre es la medida de todas las cosas.
Protágoras de Abdera, “Discursos demolidores”

*Ciertamente, al ser humano se le puede
admirar por ser un genio constructor extraordinario,
capaz de levantar una catedral de conceptos
infinitamente compleja sobre fundamentos
movedizos [...] En esa medida, en cuanto genio
constructor, el ser humano se eleva muy por encima
de la abeja: esta construye con cera que recoge
de la naturaleza, él con la materia mucho más
fina de los conceptos que antes tiene que
fabricar sacándolos de sí mismo.*
Friedrich Nietzsche, “Sobre verdad y mentira en sentido extramoral”

*En el principio existía la Palabra y la Palabra
estaba con Dios. Y la Palabra era Dios.*
Evangelio según Juan

Parafraseando a José Ortega y Gasset (que ha dicho que la poesía es el álgebra superior de las metáforas, cf. Ortega y Gasset, 1925, p. 372) podríamos decir que toda actividad artística se basa en un álgebra superior de metáforas. La poesía / el arte / la metáfora es creadora de realidades nuevas, expande nuestros mundos, nos brinda nuevos ojos, oídos, tacto, olfato, gusto y sentidos interiores. Si bien nuestro recorrido ha transitado el mundo científico y sus porfías y durezas, nuestros pasos han sido artísticos en tanto metafóricos, develando la entraña artística y creadora del conocimiento científico. Hemos podido entrever que este conocimiento en su esencia no se aleja mucho del de “todos los días”; si bien es cierto que aquel tiene la

no fácil y ardua exigencia formal de la contrastación empírica, este la vive a su modo desde esa cantera de analogías que han tenido éxito práctico.

La metáfora es creadora y así transformadora. Nuestra propia vida puede ser transformada por ella. Hasta las visiones, estados, cosas y hechos que se presentan como más oscuros e irreversibles pueden ser transfigurados por un ver creador y transformador que —por lo visto en nuestro libro— se aleja de la vana ilusión. Me permito estimado lector, lectora, finalizar con unas líneas que conmueven —en este sentido— por su clarividencia:

*Tu padre yace enterrado bajo cinco brazas de agua;
se ha hecho coral con sus huesos;
los que eran ojos son perlas.
Nada de él se ha dispersado;
sino que todo ha sufrido la transformación del mar
y se ha convertido en algo rico y extraño.
Las ondinas, cada hora, hacen sonar su campana.
¡Ding-dong!...
¡Escuchen, ahora la oigo!...
¡Ding-dong!*

W. Shakespeare, “La tempestad”

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ABBAGNANO, N. & VISALBERGHI, A. (1992). *Historia de la pedagogía*. Madrid: FCE.
- ACEVEDO DÍAZ, J. A. (2004). "El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: la teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias". *Eureka. Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (2004), Vol. 1, Nº 3, pp. 188-205, Cádiz (España).
- ALBANO, S. (2004). "Introducción". En Aristóteles. (2004). *Poética*. [Sergio Albano, trad.]. Buenos Aires: Quadrata.
- ALONSO SCHÖKEL, L. (1986). *Hermenéutica de la palabra I*. Madrid: Cristiandad.
- ALONSO, M. & FINN, E. (1970). *Física*. Vol. I. México: Fondo Educativo Interamericano. S. A.
- (1976). *Física*. Vol. II. México: Fondo Educativo Interamericano. S. A.
- ÁLVAREZ, M. C. (2011). "De la apagogé aristotélica a la retroducción de R.N. Hanson: La abducción de Charles Sanders Peirce". *Episteme*, Vol. 31, Nº 1, 2011, pp. 69-84.
- ÁLVAREZ, R. J. (2003). "Prólogo a la edición española". En Owen, Nick. (2003). *La magia de la metáfora*. Bilbao: Editorial Desclee De Brouwer.
- APOSTOL, T. (1980). *Calculus*. Vol. 2. Barcelona: Reverté.
- ARISTÓTELES. (2004). *Poética*. [Sergio Albano, introducción y traducción]. Buenos Aires: Quadrata.
- ARMSTRONG, K. (1995). *Una historia de Dios. 4000 años de búsqueda en el judaísmo, el cristianismo y el Islam*. Barcelona: Paidós.
- ASA (American Scientific Affiliation). (1949). *Journal of the American Scientific Affiliation Bulletin*. Vol 1, Number 1. Wheaton: ASA.
- ASIMOV, I. (1987). *Introducción a la Ciencia. I. Ciencias Físicas*. Barcelona: Ediciones Orbis.
- Asociación Ernst Mach. (2002). "La concepción científica del mundo: el Círculo de Viena". En Rev. Redes 9(18), 105-149. Disponible en RIDAA-UNQ (Reposi-

- torio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes): <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/659>
- AUSTIN, J. L. (1980). "La línea y la caverna en la República de Platón". En *Teorema: Revista internacional de filosofía*, ISSN 0210-1602, Vol. 10, N°. 2-3, 1980, pp. 109-126.
- BACHELARD, G. (2005). *La poética del espacio*. México: Fondo de Cultura Económica.
- BACON, F. (2011, [1620]). *La Gran Restauración (Novum Organum)*. Traducción, introducción y notas de Miguel Á. Granada. Apéndice de Julián Martín. Madrid: Tecnos.
- BAIN, K. (2007). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Valencia: Universitat de València.
- BÄR, N. (2005). "Hay mucha poesía en la ciencia y mucha ciencia en la poesía". [Entrevista al científico argentino Alberto Rojo]. *Diario La Nación*. Martes 26 de abril de 2005.
- BARROW, J. D. (1991). *Teorías del todo. Hacia una explicación fundamental del Universo*. Madrid: Crítica.
- BASILIO DE CESAREA. (2007). *Panegíricos a los mártires / Homilias contra las pasiones*. Introducción, traducción y notas de M. A. Valdés García. Biblioteca de Patrística. Madrid: Ciudad Nueva.
- BATESON, G. (1991). *Pasos hacia una ecología de la mente*. Buenos Aires: Lohlé-Lumen.
- (2002). *Espíritu y Naturaleza*. Buenos Aires: Amorrortu.
- (2006). *Una unidad sagrada*. Barcelona: Gedisa.
- BATESON, M. C. & BATESON, G. (1994). *El temor de los ángeles*. Barcelona: Gedisa.
- BELCHER, J. W. & OLBERT, S. (March 2003). "Field line motion in classical electromagnetism". *American Journal of Physics*, Vol. 71, N° 3.
- BENASAYAG, M. (2018). "¡El cerebro no es el que piensa!". En *El correo de la Unesco. Inteligencia Artificial. Promesas y amenazas*. Año 2018, N° 3, París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- BENEGAS LYNCH, A. (h). (2009). "Una refutación al materialismo filosófico y al determinismo físico". *Revista de Economía y Derecho*, Lima, Vol. 6, N° 22. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

- BERKSON, W. (1981). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Madrid: Alianza.
- BITONTE, M. E. (2002). “Reseña de Verón, Eliseo (2002). Efectos de agenda II. Espacios mentales. Buenos Aires: Gedisa”. En *Figuraciones* N° 1, Revista del IUNA (Instituto Universitario Nacional de Arte).
- BLACK, M. (1966). *Modelos y metáforas*. Madrid: Tecnos.
- BLANK, C. (2001). “Modelos y metáforas: el uso de la analogía en la ciencia”. En *Anales Revista de la Universidad Metropolitana*. Vol. 1, N° 1, pp. 247 - 265. México: Facultad de Ciencias y Artes - Departamento de Humanidades Valores, Sociedad y Cultura.
- BLASCO, J. et alii. (1999). *Signo y pensamiento. Una introducción filosófica a los problemas del lenguaje*. Barcelona: Ariel.
- BLASETTI, A. C. (1971). *Indeterminación y lenguaje - De la metáfora a la cibernética*. Buenos Aires: Pannedille.
- BODEN, M. (2017). *Inteligencia Artificial*. Madrid: Turner Publicaciones.
- BOIDO, G. (1998). *Noticias del planeta Tierra. Galileo Galilei y la revolución científica*. Buenos Aires: A-Z editora.
- BOLTZMANN, L. (1986). *Escritos de mecánica y termodinámica*. Madrid: Alianza.
- BORGES, J. L. (1928). “Otra vez la Metáfora”. En Borges, Jorge Luis. (1998). *El idioma de los argentinos*. Alianza Editorial.
- (1941a). “La Biblioteca de Babel”. En “El jardín de senderos que se bifurcan” (1941). En Borges, Jorge Luis. (1974). *Obras Completas 1923-1972*. Buenos Aires: Emecé. p. 465-471.
- (1941b). “Pierre Menard, autor del Quijote”. En “El jardín de senderos que se bifurcan” (1941). En Borges, Jorge Luis. (1974). *Obras Completas 1923-1972*. Buenos Aires: Emecé. p. 444-450.
- (1941c). “Tlön, Uqbar, Orbis Tertius”. En “El jardín de los senderos que se bifurcan” (1941). En Borges, Jorge Luis. (1974). *Obras Completas 1923-1972*. Buenos Aires: Emecé. p. 431-443.
- (1944). “Funes el memorioso”. En “Artificios” (1944). En Borges, Jorge Luis. (1974). *Obras Completas 1923-1972*. Buenos Aires: Emecé. p. 485-490.

- (1952a). “Nota sobre (hacia) Bernard Shaw”. En “Otras Inquisiciones” (1952). En Borges, Jorge Luis. (1974). *Obras Completas 1923-1972*. Buenos Aires: Emecé. p. 747-749.
- (1952b). “El idioma analítico de John Wilkins”. En “Otras Inquisiciones” (1952). En Borges, Jorge Luis. (1974). *Obras Completas 1923-1972*. Buenos Aires: Emecé. p. 706-709.
- (1952c). “Magias parciales del Quijote”. En “Otras Inquisiciones” (1952). En Borges, Jorge Luis. (1974). *Obras Completas 1923-1972*. Buenos Aires: Emecé. p. 667-669.
- (1960). “Del rigor en la ciencia”. En “El Hacedor” (1960). En Borges, Jorge Luis. (1974). *Obras Completas 1923-1972*. Buenos Aires: Emecé. p. 847.
- (1974). *Obras Completas 1923-1972*. Buenos Aires: Emecé.
- BOŠKOVIĆ, R. J. (1922). *A theory of natural philosophy*. [Latin-English edition]. London: Open Court Publishing Company.
- BOYER, C. B. (1987). *Historia de la matemática*. Madrid: Alianza.
- BREDLOW, A. (2006). “Lenguaje y realidad”. En *Conferencia pronunciada ante la Societas Philosophorum Viventium*, el 5 de mayo de 2006, en la Facultad de Filosofía de la Universidad de Barcelona. Barcelona: Societas Philosophorum Viventium.
- BRÉHIER, E. (1988). *Historia de la Filosofía. Volumen 1. Desde la antigüedad hasta el siglo XVII*. Madrid: Tecnos.
- BRUNER, J. (2004). *Realidad mental y mundos posibles*. Barcelona: Gedisa.
- BRUNI CELLI, B. (2005). “Los niveles ontológicos de la necesidad en el Timeo de Platón”. En *Apuntes Filosóficos*, 27 (2005), pp. 65-77.
- BRUNO, G. (1991). *Expulsión de la bestia triunfante*. [Traducción: Ernesto Schettino y Martha L. Rojas; Prólogo: Ernesto Schettino]. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- (2015). *La cena de las cenizas*. [Traducción, introducción y notas de Miguel Á. Granada]. Madrid, España: Tecnos.
- (2018). *De la Causa, Principio y Uno*. [Traducción, prólogo y notas por Ángel Vassallo]. Madrid, España: Losada.

- BURIDAN, J. (1959). "Questions on the Eight Books of the Physics of Aristotle. Book VIII. Question 12". En Clagett, Marshall. (1959). *The science of mechanics in the Middle Ages*. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin Press. p. 532-538.
- CALLES HIDALGO, J. (2012). *Literatura de las nuevas tecnologías. Aproximación estética al modelo literario español de principios de siglo (2001-2011)*. Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca.
- CALVET, J.-L. (1996). *Historia de Palabras*. Madrid: Gredos.
- CAMPBELL, L. & GARNETT, W. (1882). *The Life of James Clerk Maxwell, with a selection from his correspondence and occasional writings and a sketch of his contributions to science*. London: Macmillan and Co.
- CARRÓN, J. (2020). *Un brillo en los ojos. ¿Qué nos arranca de la nada?* Trad.: Belén de la Vega. Italia: Fraternità di Comunione e Liberazione.
- CASADO VÁZQUEZ, J. M. (2000). "Ruggero Giuseppe Boscovich y el atomismo". En *Llull*, vol. 23, 2000, pp. 551-575.
- CASSIRER, E. (1953). *Substance and function and Einsteins Theory of Relativity*. USA: Dover Publications Inc.
- (1968). *Antropología Filosófica. Introducción a una filosofía de la cultura*. México: Fondo de Cultura Económica.
- (1993a). *El problema del conocimiento en la filosofía y en la ciencia modernas*. Tomo I. México: Fondo de Cultura Económica.
- (1993b). *El problema del conocimiento en la filosofía y en la ciencia modernas*. Tomo II. México: Fondo de Cultura Económica.
- CASTAÑARES, W. (1994). "La Orientación Semiótica". En AA.VV. (1994). *De la interpretación a la lectura*. Madrid: Iberediciones. (pp. 117-165).
- CASTELLÀ CID, J. (s/f). *Origen e implicaciones filosóficas de las medidas cuánticas sin interacción. La filosofía de la física de M. Renninger*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Filosofía y Letras.
- CASTORIADIS, C. (2013). *La institución imaginaria de la sociedad*. México: Tusquets.
- CASTORINA, J. & PALAU, G. (1994). "Introducción a la traducción castellana". En Piaget, J.- Apostel, L. (1994) *Construcción y validación de teorías científicas*. Buenos Aires: Paidós.
- CERAM, C.W. (1975). *Dioses, Tumbas y Sabios*. Barcelona: Destino.

- CHALMERS, A. (1982). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Una valoración de la naturaleza y el estatuto de la ciencia y sus métodos*. México: Siglo XXI.
- CHEMLA, K. (Ed.). (2012). *The History of Mathematical Proof in Ancient Traditions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- CHEVALLARD, Y. (1985). *La transposición didáctica del saber sabio al saber enseñado*. AIQUE.
- CHRISTY, R. & PYTTE, A. (1971). *Estructura de la materia: una introducción a la física moderna*. Barcelona: Reverté.
- COLBERT, J. G. (JR.) (1971). "Whitehead y la historia de la filosofía". En *Anuario Filosófico*, 4, 11-29. Disponible en: <https://doi.org/10.15581/009.4.30485>
- CORNFORD, F. M. (1997). *Plato's Cosmology. The Timaeus of Plato*. Indianapolis / Cambridge: Hackett Publishing Company.
- COROMINAS, J. (1987). *Breve diccionario etimológico de la lengua castellana*. Madrid: Gredos.
- CORRIPIO, F. (1996). *Diccionario etimológico general de la lengua castellana*. México: Ediciones B.
- COVIÁN REGALES, E. & CELEMÍN MATACHANA, M. (2008). "Diez años de evaluación de la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de Newton en escuelas de ingeniería españolas. Rendimiento académico y presencia de preconceptos". *Enseñanza de las Ciencias*, 2008, Vol. 26, N° 1, pp. 23-42.
- CROATTO, S. (1994). *Hermenéutica Bíblica – Para una teoría de la lectura como producción de sentido*. Buenos Aires: Lumen.
- CROSS, R. C. (1989). "Magnetic lines of force and rubber bands". *American Journal of Physics*. Vol. 57, N° 8 (August 1989): pp. 722-725.
- CROWEL, B. (2006). *Discover Physics*. California: Light and Matter. Attribution-Share Alike license. Disponible en: <https://www.lightandmatter.com/dp/dp.pdf>
- (2019). *Conceptual Physics*. California: Light and Matter. Creative Commons Attribution-Share Alike license, version 3.0. Disponible en: <https://www.lightandmatter.com/books.html>
- (2020). California: *Light and Matter*. Creative Commons Attribution-Share Alike license, version 3.0. Disponible en: <https://www.lightandmatter.com/books.html>

- CÚNSULO, R. (2017). *Las metáforas ¿son el único camino para conocer a Dios?* En *Studium. Filosofía y Teología*, N° 39 pp. 43-53.
- DAAF (Departaments of the Army and the Air Force). (1951). *Electrical fundamentals*. Washington: U. S. Government Printing Office.
- DAHAN DALMEDICO, A. (2006). “Laplace, el ‘Newton de Francia’, no necesitaba la hipótesis de dios”. En AA.VV. *Física y teología* [Artículos del Congreso Internacional *Science and Religion: from Descartes to the French Revolution*]. Tenerife: La Opinión.
- DARRIGOLF, O. (2002). *Electrodynamics from Ampère to Einstein*. Oxford University Press. Oxford.
- DAVOUR, A.; JARNESTAD, J.; GUSTAVSSON, S. (2024). *The Nobel Prize in Physics 2024*. Suecia: The Royal Swedish Academy of Sciences. Disponible en: <https://www.nobelprize.org/uploads/2024/11/popular-physicsprize2024-3.pdf>
- DAWKINS, R. (1988). *El relojero ciego*. Barcelona: Labor.
- DE AZCÁRATE, P. (1872). “Introducción y Notas” a Platón. *Obras Completas*. Tomo 6 (El Político, Timeo, Critias). Madrid: Medina y Navarro.
- DE BROGLIE, L. (1939). *Matter and light. The New Physics*. New York: W.W. Norton & Co - Inc.
- DE BUSTOS, E. (2000). *La metáfora, ensayos transdisciplinares*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- DE MIGUEL, R. y EL MARQUÉS DE MORANTE. (1914). *Nuevo Diccionario Latino-Español Etimológico*. Madrid: Ed. Saenz de Jubera hermanos.
- DEELY, J. (1986). “Semiotic as Framework and Direction”. En Deely, John; Williams, Brook; Kruse, Felicia. (1986). *Frontiers in Semiotics*. Bloomington (Indiana, USA): Indiana University Press.
- DEL RÍO CHANONA, R. M. (2014). “Simetría en nuestra mente”. En *Ciencias* (revista de cultura científica Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México), núm. 113-114, abril-septiembre, pp.24-31.
- DESCARTES, R. (1677). *Principia philosophiæ*. Países Bajos: Apud Danielelem Elsevirium. Derechos de autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: [Renati Des-cartes Principia philosophiæ - Google Books](#)
- (2002). *Los Principios de la Filosofía*. Trad. Guillermo Quintas. Barcelona: Alianza.

- (2011). “Discurso del Método”. En Descartes, René. (2011). *Descartes*. Introducción de C. Flórez Miguel. [Col. Biblioteca de grandes pensadores]. Madrid: Gredos.
- (n.d.). *Obras filosóficas de Descartes (Discurso del Método. Meditaciones Metafísicas. Los Principios de la Filosofía. Las Pasiones del Alma)*. Traducción e Introducción de Manuel De La Revilla. Madrid: Biblioteca-Perojo. Derechos de autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: [Obras filosóficas de Descartes - Google Books](#)
- DÍAZ BLANCA, L. (2004). “El signo lingüístico: de la tríada clásica al binarismo”. *Escritos revista del Centro de Ciencias del Lenguaje*. N° 29, enero-junio de 2004, pp. 51-66.
- DÍAZ, E. (1996). “¿Qué es el imaginario social?”. En Díaz, E. (ed.). *La ciencia y el imaginario social*, Buenos Aires: Biblos. (pp.13-21).
- DIRAC, P. A. M. (1931). “Quantised singularities in the electromagnetic field”. *Proceedings of the Royal Society A Mathematical, physical and engineering sciences*. London. A 133, pp. 60–72. <https://doi.org/10.1098/rspa.1931.0130>
- (1979). “The excellence of Einstein’s theory of gravitation”. En: Richardson, Jacques (Ed.). *Impact of science on Society* [Revista]. *The Einstein century* [Número especial]. Vol. 29, N° 1, January-March 1979. UNESCO: McGraw-Hill Book Company. Disponible en: [The Excellence of Einstein’s theory of gravitation - UNESCO Biblioteca Digital](#)
- DORI, Y. J. & BELCHER, J. (2005). “How Does Technology-Enabled Active Learning Affect Undergraduate Students’ Understanding of Electromagnetism Concepts?”. *The journal of the learning sciences*, Vol. 14, N° 2, pp. 243–279.
- DRAE Diccionario de la Real Academia Española. En línea. <https://www.rae.es/>
- DROZ, G. (1993). *Los mitos platónicos*. Barcelona: Labor.
- DURAN LÓPEZ, M. (2004). “Introducciones, Traducción y Notas” a PLUTARCO. *Moralia XI. Tratados Platónicos*. Madrid: Gredos.
- DURAND, S. & SUAYA, S. (2003). “Los contextos metodológicos”. En Durand & Mambrú (comp). (2003). *Encrucijadas del pensamiento*. Buenos Aires: Gran Aldea.
- ECO, U. & SEBEOK, T. (Eds.). (1989). *El signo de los tres. Dupin, Holmes, Peirce*. Barcelona: Lumen.
- ECO, U. (1993). *Lector in fábula. La cooperación interpretativa en el texto narrativo*. Barcelona: Lumen.

- EINSTEIN, A. & INFELD, L. (1974). *La Física aventura del pensamiento*. 9ª edición de la primera de 1939. Buenos Aires: Losada.
- EINSTEIN, A. (1905). “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”. *Teorema*, Vol 24, N° 2, 2005, pp. 91-119.
- (1983). *Notas autobiográficas*, Madrid: Alianza Editorial.
- (1998). *Sobre la Teoría de la Relatividad Especial y General*. Barcelona: Debate.
- ELIADE, M. (1992). *Lo sagrado y lo profano*. Barcelona: Labor.
- (1999). *Historia de las creencias y las ideas religiosas. De la Edad de Piedra a los Misterios de Eleusis*. Volumen I. Barcelona: Paidós.
- ESCOHOTADO, A. (1999). *Caos y orden*. Madrid: Espasa Calpe.
- EUCLIDES. (1991 [300 a.C.]). *Elementos. Libros I-IV*. [Introducción de Luis Vega. Traducción y notas de María L. Puertas Castaños]. Madrid: Gredos.
- EULER, L. (1802a). *Letters of Euler on Different Subjects in Physics and Philosophy addressed to a German Princess*. Vol I. [In Two Volumes. Trad. H. Hunter]. London: Murray and Highley. Disponible en: [Letters of Euler on Different Subjects in Physics and Philosophy - Google Books](#).
- (1802b). *Letters of Euler on Different Subjects in Physics and Philosophy addressed to a German Princess*. Vol II. [In Two Volumes, trad. H. Hunter]. London: Murray and Highley. Disponible en: [Letters of Euler to a German Princess, on Different Subjects in Physics and... - Google Books](#).
- (1822a). *Cartas a una princesa de Alemania sobre varias cuestiones de física y de filosofía*. Tomo I. [Edición en 4 Tomos, trad. y notas: J. López de Peñalver]. Madrid: José del Coldado.
- (1822b). *Cartas a una princesa de Alemania sobre varias cuestiones de física y de filosofía*. Tomo III. [Edición en 4 Tomos, trad. y notas: J. López de Peñalver]. Madrid: José del Coldado.
- EVERS, V. (2018). “De robots y hombres”. En *El correo de la Unesco. Inteligencia Artificial. Promesas y amenazas*. Año 2018, N° 3, París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- FARADAY, M. (1839). *Experimental researches in Electricity. (Reprinted from the Philosophical Transactions of 1831-1838)*. Vol. I. Londres: Richard and John Edward Taylor, printers and publishers to the University of London. Derechos de

- autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: [Experimental Researches in Electricity - Google Books](#).
- (1844). *Experimental researches in Electricity*. (Reprinted from the *Philosophical Transactions of 1838-1843*) Vol. II. Londres: Richard and John Edward Taylor. Derechos de autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: [Experimental Researches in Electricity - Google Books](#).
- (1855). *Experimental researches in Electricity*. (Reprinted from the *Philosophical Transactions of 1846-1852*) Vol. III. Londres: Bernard Quaritch. Derechos de autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: [Experimental Researches in Electricity: Series 19-29 \[Phil. trans., 1846-52... - Google Books](#).
- FERNÁNDEZ-RAÑADA, A. (2000). La belleza de la ciencia. *Revista de Ciencia de El Cultural*. Disponible en: <http://www.elcultural.com/revista/ciencia/La-belleza-de-la-ciencia/15096>
- FERRATER MORA, J. (1964). *Diccionario de Filosofía*. Buenos Aires: Sudamericana.
- FEYNMAN, R. (1988). *Electrodinámica cuántica. La extraña teoría de la luz y la materia*. Madrid: Alianza Editorial.
- (2015). *El carácter de la ley física*. Barcelona: Tusquets.
- FLAX, J. (1996). “La historia de la ciencia: sus motores, sus frenos, sus cambios, su dirección”. En Díaz, E. (ed.). *La ciencia y el imaginario social*, Buenos Aires: Biblos. (pp.43-55).
- FOER, F. (2017). *Un mundo sin ideas. La amenaza de las grandes tecnológicas a nuestra identidad*. Barcelona: Paidós.
- FOURIER, J. B. J. (1822). *Théorie analytique de la chaleur*. Francia: Didot. Derechos de autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: *Théorie analytique de la chaleur - Google Books*
- FRANKLIN, S. (1997). “Autonomous Agents as Embodied AI”, En *Cybernetics and Systems, Special issue on Epistemological Aspects of Embodied AI*, 28(6), 1997, pp. 499-520.
- FRONTEROTTA, F. (2012). “El demiurgo y los principios del cosmos generado en el Timeo de Platón”. En *Cuadernos de filosofía (UBA)*/59 .2012. ISSN 0590-1901. pp. 5-22.
- FUENTES, J. L. (1997). *Gramática moderna de la lengua española*. Barcelona: Foundation Books S.A.-Bibliográfica Internacional S.A.-Eurobinder S.A.

- GADAMER, H. G. (1971). "Acerca de la verdad de la palabra". En Gadamer, Hans-Georg. (1998). *Arte y verdad de la palabra*. Barcelona- Buenos Aires -México: Paidós. [Capítulo 1].
- (1984). "Oír - Ver - Leer". En Gadamer, Hans-Georg. (1998). *Arte y verdad de la palabra*. Barcelona-Buenos Aires-México: Paidós. [Capítulo 3].
- (1989). "Leer es como traducir". En Gadamer, Hans-Georg. (1998). *Arte y verdad de la palabra*. Barcelona-Buenos Aires-México: Paidós. [Capítulo 4].
- (1998). *Arte y verdad de la palabra*. Barcelona-Buenos Aires-México: Paidós.
- (1999). *Verdad y método*. I. Salamanca: Sígueme.
- GALILEI, G. (1864 [1623]). *Il Saggiatore*. Firenze: G. Barbèra Editore. Derechos de autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: [Il saggiatore - Google Books](#).
- (1975). *Dialogo sobre los sistemas máximos*. Trad., prólogo y notas por José Manuel Revuelta. Bs. As.: Aguilar.
- (1981). *El Ensayador*. Bs. As.: Aguilar.
- GARDNER, M. (1988). *La Ciencia. Lo bueno, lo malo y lo falso*. Madrid: Alianza Editorial.
- GEHLEN, A. (1987). *El hombre. Su naturaleza y su lugar en el mundo*. Salamanca: Sígueme.
- (1993). *Antropología filosófica. Del encuentro y descubrimiento del hombre por sí mismo*. Barcelona: Paidós.
- GENETTE, G. (1981). "La literatura a la segunda potencia". En: Navarro, Desiderio (ed.). (1981). *Intertextualité: Francia en el origen y el desarrollo de un concepto*. La Habana: Casa de las Américas. (pp. 53-62).
- GENTNER, D. & GENTNER, D. R. (1982). "Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity". En *Office of Naval Research Personnel and Training Research Programs*. Massachusetts: Bolt Beranek and Newman Inc.
- GIBNEY, E. (2014). "Quantum cloud simulates magnetic monopole". *Nature* (2014). Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nature.2014.14612>
- GILBERT, W. (1600). *De Magnete, Magneticisque Corporibus, Et De Magno magnete tellure*. Reino Unido: Short.

- GILLIES, G. (1982). *The newtonian gravitational constant: an index of measurements. (Rapport BIPM-82/9)* Pavillon de Brereuil, Sèvres, France: Bureau International des Poids et Mesures.
- GÖDEL, K. (2006). *Obras Completas*. Madrid: Alianza Editorial.
- GÓMEZ FERRI, J. (1997). “Qué hacen las metáforas en la ciencia: un panorama reflexivo sobre la metáfora en la economía”. *Revista de Filosofía*, N° 4, Universidad de la Laguna, pp. 57-76.
- GÓMEZ, C. (1979). “Realismo y Racionalidad: Filosofía de la Ciencia en Albert Einstein”. En *El Basilisco*, número 7, mayo-junio 1979. Disponible en: fgbueno.es
- GONZÁLEZ GALLI, L. (2016). “El problema de la teleología y la metáfora del diseño en biología: cuestiones epistemológicas e implicancias didácticas”. En *TED*, No 40, Segundo semestre de 2016, pp. 149-173.
- GONZÁLEZ URBANEJA, P. M. (2003). “La Geometría de Descartes”. En XTEC - Xarxa Telemàtica Educativa de Catalunya (XTEC es una red educativa de Cataluña con multitud de recursos didácticos). Disponible en: <http://www.xtec.cat/sgrfp/licencias/200304/memories/geometriadescartes.pdf>
- GOYA Y LUCIENTES, F. (1799). *Caprichos de Goya*. Madrid: [editor no identificado]. Disponible en: <https://www.loc.gov/item/2021666848/>
- GPU (Gaceta de Psiquiatría Universitaria). (2008). “Enfoque corporalizado de la cognición: entrevista a Rafael Núñez”. En *Revista GPU* (2008), año 4, n° 2, pp. 171-179.
- GREEN, B. (2006). *El universo elegante*. Barcelona: Drakontos
- GRONDIN, J. (2004). *¿Qué es la hermenéutica?* Madrid: Herder.
- (2009). *El legado de la hermenéutica*. Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle Cali.
- GRÜNBAUM, A. (1993). “La génesis de la teoría especial de la relatividad”. En Einstein, Albert y otros. (1993). *La Teoría de la Relatividad*. Barcelona: Altaya. (pp. 119-123).
- GUITTON, J.; BOGDANOV, G. & BOGDANOV, I. (1998). *Dios y la ciencia: hacia el meta-realismo*. Madrid: Debate.
- HABERMAS, J. (1990). *Conocimiento e interés*. Argentina: Taurus.
- HACKING, I. (1996). *Representar e intervenir*. México: Paidós.

- HALLIDAY, D. & RESNICK, R. (1977). *Física. Parte 2*. México: CECSA.
- HALLIDAY, D., RESNICK, R. & KRANE, K. (1999). *Física. Vol. 2*. México: Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V.
- HANSON, N. R. (1977). *Observación y explicación: guía de la filosofía de la ciencia. Patrones de descubrimiento. Investigación de las bases conceptuales de la ciencia*. Madrid: Alianza.
- HATHAWAY, D. H. (2014). "The Solar Dynamo". *Solar Physics. Marshall Space Flight Center*. Disponible en: [NASA/Marshall Solar Physics](https://www.nasa.gov/mission/main/physic/index.html)
- HALLOUN, I. A. & HESTENES, D. (1985). "Common sense concepts about motion". En *American Journal of Physics*. Nº 53, Vol. 11, p. 1056-1065.
- HAWKING, S. W. (2008). *La teoría del todo. El origen y el destino del universo*. Buenos Aires: Sudamericana.
- HEGEL, G. W. F. (1997). *Introducción a la estética*. Barcelona: Península.
- HEIDEGGER, M. (1988). *Arte y poesía*. Argentina: F. C. E.
- (2006). *Carta sobre el humanismo*. Madrid: Alianza.
- HEISENBERG, W. (1958). *The Physicist's Conception of Nature*. Translated by Arnold J. Pomerans from *Das Naturbild der Heutigen Physik* London: Hutchinson Scientific and Technical.
- (1959). *Física y filosofía*. Buenos Aires: La Isla.
- (1972). *Diálogos sobre la Física Atómica*. [Trad. del alemán de *Der Teil Und Das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik* por W. Strobl y L. Pelayo]. Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos.
- (1985). *La imagen de la naturaleza en la física actual*. Buenos Aires: Orbis Hyspamerica.
- HENRY, J. (2007). "Isaac Newton y el problema de la acción a distancia". *Estudios filosóficos* ISSN 0121-3628, Nº35, febrero de 2007, Universidad de Antioquia, pp.189-226.
- HERRERO, M. Á. (2012). "Instrumentalismo y realismo en la física de James C. Maxwell". En *Naturaleza y Libertad. Revista de estudios interdisciplinarios*. Número 1, 2012. ISSN: 2254-9668, Universidad Politécnica de Madrid, pp. 77-138.

- HERRMANN, F. (1989). "Energy density and stress: A new approach to teaching electromagnetism". *American Journal of Physics*. Vol. 57, N° 8, August 1989: pp 707-714
- HEWITT, P. (2007). *Física Conceptual*. 10ª Ed. México: Pearson Addison Wesley.
- HIERRO S. PESCADOR, J. (1986). *Principios de Filosofía del Lenguaje*. Madrid: Alianza.
- HIRSCHBERGER, J. (1997). *Historia de la Filosofía. Antigüedad, Edad Media, Renacimiento*. Tomo I. Barcelona, España: Herder.
- HOLLIS, M. (1994). "Relativismo conceptual y perceptivo". En AAVV (1004). *The philosophy as social science. An Introduction*, Cambridge University Press, pp. 237-239.
- HOLTON, G. & BRUSH, S. (1993). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.
- HOLTON, G. (1993). "Sobre los orígenes de la teoría especial de la relatividad". En Einstein, Albert y otros. (1993). *La Teoría de la Relatividad*. Barcelona: Altaya. (pp. 111-118).
- HOOD, A. (2022). "The Lorentz Force. Magnetic Pressure and Tension". *The Solar and Magnetospheric Theory group*. United Kingdom: University of St Andrews.
- HUYGENS, C. (1673). *Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricae*. Francia: Apud F. Muguet. Derechos de autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: [Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia aptato demons... - Google Books](#).
- HYNES, C. (2004). "Verdad y fin de la investigación. ¿Aciertan el blanco las críticas de Quine a Peirce?". I Jornada "Peirce en la Argentina" 10 de septiembre de 2004. En *Grupo de Estudios Peirceanos* (Comp.). Disponible en: [Catalina Hynes: "Verdad y fin de la investigación. ¿Aciertan el blanco las críticas de Quine a Peirce?"](#)
- JAIMEZ, H. (2004). *Octavio Paz: la dimensión estética del ensayo*. México: Siglo veintiuno.
- JAKOBSON, R. (1984). "Lingüística y poética". En Jakobson, Roman. (1984). *Ensayos de Lingüística General*. Barcelona: Seix Barral (pp. 347-395).
- JIMENEZ BARRIGA, L. F. (2008). *La noción de "Pensamiento Narrativo" en la teoría de Jerome Bruner*. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

- JOSEPH, G. G. (2011). *The crest of a peacock. Non-European Roots of Mathematics*. Princeton: Princeton University Press.
- JUAN PABLO II. (1989). *Regina Caeli*. Roma: Libreria Editrice Vaticana.
- KAKU, M. (n.d.). “Michio Kaku: The Universe in a Nutshell”. [Archivo de Video]. En “The Floating University” del Foro *Big Think* (<https://bigthink.com>). Disponible en: [A universe in a nutshell: The physics of everything, with Michio Kaku - Big Think](#)
- KANT, I. (2009). *Crítica de la razón pura*. Edición bilingüe alemán-español. [Traducción, estudio y notas de Mario Caimi]. México : FCE, UAM, UNAM.
- KARAGIANNIS, S. (2005). *La evasión de Dédalo: Teoría y usos poéticos de la metáfora en José Ortega y Gasset, Juan Ramón Jiménez y Yorgos Seferis*. Tesis Doctoral. Granada: Editorial de la Universidad de Granada.
- KARLES GÓMEZ, J. (1988). “El papel de la fuerza centrípeta en la síntesis newtoniana”. *Revista Mexicana de Física* N° 2 (1988), publicación del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia. Seccional Medellín, Colombia.
- KEPLER, J. (1609). *Astronomia Nova Aitiologētos, Sev Physica Coelestis, tradita commentariis De Motibus Stellae Martis, Ex observationibus G. V. Tychoonis Brahe*. Editor: G. Voegelinus. Derechos de autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: [ASTRONOMIA NOVA AITIOLOGĒTOS, SEV PHYSICA COELESTIS, tradita commentariis D... - Google Books](#).
- KLIMOVSKY, G. (1999). *Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología*. [4° ed.]. Buenos Aires: AZ editora.
- KNABE, G. S. (2007). “Signo. Verdad. Círculo. (I. Lotman y el problema de la postmodernidad)”. [Trad. Klaarika Kaldjärv]. *Entretextos*. Revista Electrónica Semestral de Estudios Semióticos de la Cultura, N° 9, Granada, mayo 2007.
- KOJĚVE, A. (1964). “L’origine chrétienne de la science moderne”. En Koyré, M. (1964). *L’Aventure de l’esprit*. París, France: Hermann.
- (2020). “El origen cristiano de la ciencia moderna”. *Open Insight*, Vol. 11, N° 22 (mayo-agosto 2020), pp. 187-197.
- KORZYBSKI, A. (1951). “El papel del lenguaje en los procesos perceptivos”. [Trad. Isabel Caro]. Disponible en: <http://esgs.free.fr/es/art/ak3.htm>
- (1994). *Science and Sanity. An introduction to non-aristotelian systems and general semantics*. New York: Institute of General Semantics.

- KOVANEN, T. (2013). *Definition of Electric and Magnetic Forces on Riemannian Manifold*. Thesis for the degree of Doctor of Science in Technology. Tampere: Tampere University of Technology.
- KOYRÉ, A. (1980). *Estudios galileanos*. Madrid: Siglo XXI.
- KUHN, T. (1991). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE.
- LABORDA GIL, X. (1981). *Racionalismo y empirismo en la lingüística del siglo XVII*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- LADRIÈRE, J. (1978). *El reto de la racionalidad*. Paris-Salamanca: Unesco-Sígueme.
- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (2007). *Metáforas de la vida cotidiana*. Madrid: Cátedra.
- LAKOFF, G. & NUÑEZ, R. (2000). *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being*. New York: Basic Books.
- LAKOFF, G. (1993). "The contemporary theory of metaphor". In Ortony, Andrew (ed.) *Metaphor and Thought*. Cambridge: University Press. Chapter 11, pp. 202 - 251.
- (2004). *No pienses en un elefante*. Madrid: Complutense.
- LARSON, E. J. (2022). *El mito de la Inteligencia Artificial. Por qué las máquinas no pueden pensar como nosotros lo hacemos*. México: Shackleton Books.
- LARSON, R. & EDWARDS, B. (2010). *Cálculo 1 de una variable*. China: McGrawHill.
- LEBUS, E. (2014). "La noción de 'operatoria' como superación de la disyuntiva 'el método-los métodos' en geografía. Aportes reflexivos a partir de extractos de una tesis de maestría". *Revista Geográfica Digital. IGUNNE*. Año 11, N° 22. ISSN 1668-5180. Resistencia, Chaco. Facultad de Humanidades. UNNE. Disponible en: [GEOGRAFICA DIGITAL](#)
- LEIBNIZ, G. (1981). *Monadología*. [Edición trilingüe. Introducción de G. Bueno. Trad. de J. Velarde]. Oviedo (España): Pentalfa.
- LING, S.; SANNY, J. & MOEBS, W. (2021). *Física Universitaria*. Volumen 1. Houston: OpenStax. Rice University (licencia de atribución internacional de Creative Commons 4.0 -CC BY 4.0-).
- LLAMAS, C. (1996). "La recepción de Peirce en la lingüística española". En *Anuario Filosófico* (Universidad de Navarra), 1996 (29), 1383-1394. Navarra: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra. Disponible en: [LA RECEPCIÓN DE PEIRCE EN LA LINGÜÍSTICA ESPAÑOLA](#)

- LÓPEZ DE MÁNTARAS BADÍA, R. & MESEGUER GONZÁLEZ, P. (2017). *Inteligencia Artificial*. Madrid: Editorial CSIC.
- LÓPEZ PELLICER, M. (s/f). "La estructura racional del pensamiento matemático. El infinito matemático". En Real Academia de Ciencias. pp.35-55.
- LOSEE, J. (1991). *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*. Madrid: Alianza.
- LOTMAN, I. M. (1993). "La semiótica de la cultura y el concepto de texto". *Escritos*. Revista del Centro de Ciencias del Lenguaje, N° 9, enero-diciembre 1993 [Trad. de Desiderio Navarro], pp. 15-20. Disponible en: [la-semiocc8ltica-de-la-cultura-y-el-concepto-de-texto.pdf](#)
- LOZANO, J.; PEÑA-MARÍN, C. & ABRIL, G. (1986). *Análisis del Discurso. Hacia una semiótica de la interacción textual*. Madrid: Cátedra.
- MACHADO, A. (1991). *Poesías completas*. Madrid: Espasa-Calpe.
- MAGNASCO, H. (2007). *Lo que nunca pasó y siempre nos pasa: Génesis 1-11*. [Seminarios de Sagrada Escritura brindados por el autor]. Inédito: solicitarlo a hmagnasco@frsn.utn.edu.ar
- (2019). *Bases epistémicas del surgimiento de la metáfora, como mecanismo de inteligencia, creación y comunicación en ciencias duras e ingeniería. Incidencia en la Docencia Universitaria*. Tesis de Maestría en Docencia Universitaria. Facultad Regional San Nicolás de la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina).
- (2024). *La metáfora como proceso creativo ubicuo: bases epistémicas interdisciplinarias*. Rosario: CEI Ediciones. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2133/27781>
- MAIZTEGUI, A. & SÁBATO, J. (1972). *Introducción a la Física Tomo II*. Buenos Aires: Kapeluz.
- (1974). *Introducción a la Física Tomo I*. Buenos Aires: Kapeluz.
- MARINA, J. A. (1999). "Poética de la ciencia". *Revista de Ciencia de El Cultural*. Disponible en: [Poética de la ciencia](#) (consultado el 19/12/2023).
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J. & SIFREDO, C. (2005). "¿Cómo convertir los problemas de lápiz y papel en auténticos desafíos de interés?". En Gil Pérez, Daniel; Macedo, Beatriz et alii (Editores). (2005). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación*

- científica de jóvenes de 15 a 18 años*. UNESCO. Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe. Chile: Andros Impresores.
- MARTY, C. & MARTY, R. (1992). *La semiótica 99 respuestas*. Buenos Aires: Edicial.
- MASSUH, V. (1990). *La flecha del tiempo - En las fronteras comunes a la ciencia, la religión y la filosofía*. Buenos Aires: Sudamericana.
- MATTHEWS, V. H. & BENJAMIN, D. C. (2004). *Paralelos del Antiguo Testamento. Leyes y relatos del Antiguo Oriente Bíblico*. Santander: Sal Terrae.
- MAXWELL, J. C. (1890a). *The scientific papers of James Clerk Maxwell. Vol I*. Editado por Niven, W. D. Cambridge: At the university press. Derechos de autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: [The Scientific Papers of James Clerk Maxwell ... - Google Books](#).
- (1890b). *The scientific papers of James Clerk Maxwell. Vol II*. Editado por Niven, W. D. Cambridge: At the university press. Derechos de autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: [The Scientific Papers of James Clerk Maxwell ... - Google Books](#).
- MCALLISTER, J. (1996). *Beauty and Revolution in Science*. Ithaca (USA): Cornell University Press.
- MCDONALD, D. K. C. (1964). *Faraday, Maxwell and Kelvin*. New York: Anchor Books-Doubleday & Company, Inc.
- MITCHELL, M. (2024). *Inteligencia Artificial. Guía para seres pensantes*. España: Capitán Swing.
- (2025). “Why AI chatbots lie to us”. En *Science*, Vol. 389, No. 6758. Disponible en: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aea3922>
- MOLEDO, L. (2013). *Historia de las ideas científicas De Tales de Mileto a la Máquina de Dios*. Buenos Aires: Editorial La Página.
- MONTESINOS, W. (2003). “Las herramientas de la Sonocreática. Tercio incluso lupasciano versus tercio incluso aristotélico: por una lógica de la resistencia”. En *Sonocreatica* [web]. Disponible en: [Por-una-lógica-de-la-resistencia-.pdf \(sonocreatica.org\)](#)
- MORA CASTIBLANCO, J. E. (2014). “La transposición didáctica del saber sabio al saber enseñado”. Autor: Yves Chevallard. Reseña. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias* e-ISSN: 2346-4712, Vol. 9, N° 2 (jun-dic 2014). pp. 97-100.

- MÖRÉE, G. & LEIJON, M. (2023). "The force density in electrical machines modeled as tension and pressure gradients of magnetic field lines". *AIP Advances*. Vol. 13, Nº 2 (2023). Disponible en: <https://doi.org/10.1063/5.0122245>
- MÖRÉE, G. (2023). "Models of magnetism in electrical machines". *Dissertations from the Faculty of Science and Technology*. Uppsala, Suecia: Acta Universitatis Upsaliensis. Disponible en: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1741915/FULLTEXT01.pdf>
- MORIN, E. (1992). *El método IV: Las ideas. Su hábitat, su vida, sus costumbres, su organización*. Barcelona: Cátedra.
- (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. UNESCO.
- MUÑOZ TOBAR, C. (2010). "El cuerpo en la mente. La hipótesis de la corporeización del significado y el dualismo". *Praxis. Revista de Psicología*, Nº 18 (91-106), II Sem. 2010.
- NAGEL, E. (2006). "El Estatus cognoscitivo de las teorías". En Nagel, Ernest. (2006). *La estructura de la ciencia*. Barcelona: Paidós-Surcos. (pp.151-209).
- NAMOC MEDINA, J. (2021). *Filosofía Médica. Ochenta Filósofos y sus frases más célebres*. Trujillo (Perú): Fondo Editorial de la Universidad Privada Antenor Orrego.
- NÁPOLES VALDÉS, J. E. (2009). *Para una historia de las matemáticas griegas*. Corrientes: edUTecNe.
- NAVARRO LOIDI, J. (2005). "Los 'Elementos' de Euclides". Instituto de Bachillerato a Distancia de Guipúzcoa.
- NEWTON, I. (1848). *The mathematical principles of natural philosophy*. [Trad. Andrew Motte, 1ª versión en inglés]. New York: Daniel Adee. Derechos de autor expirados, libro de dominio público. Disponible en: [Newton's Principia - Google Books](#).
- (1982). *Principios matemáticos de la Filosofía Natural*. Estudio preliminar, traducción y notas de Antonio Escohotado. Madrid: Tecnos [Colección Clásicos del pensamiento] [1ª versión en castellano de esta obra clásica, traducción desde el latín -1726- y desde el inglés].
- (2006). *De Gravitatione et æquipondio fluidorum*. Disponible en: [De Gravitatione et æquipondio fluidorum \(Normalized\)](#)
- (2011). *Principios matemáticos de la filosofía natural*. [introducción y notas de Rada, Eloy]. Madrid: Alianza.

- NICOLÁS DE CUSA. (2003). *Acerca de la Docta Ignorancia. Libro I: lo Máximo Absoluto*. Ed. bilingüe. [Introducción, traducción y notas: J. Machetta y C. D'Amico]. Buenos Aires: Biblos.
- NINA, R. & OHLSSON, S. (1989). *Impetus then and now: A detailed comparison between Jean Buridan and a single contemporary subject*. Pittsburgh: University of Pittsburgh (Learning Research and Development Center).
- NIETZSCHE, F. (1990) *El ocaso de los ídolos*. [Trad.: R. Echavarren]. Barcelona: Tusquets.
- (2003). “Más allá del bien y del mal”. En Nietzsche, Friedrich. *Obras Inmortales, Tomo II*. Barcelona: Edicomunicación, S.A., pp. 755-924.
- (2006). *La voluntad de poder*. Madrid: Edaf.
- (2011). “Sobre verdad y mentira en sentido extramoral”. *Obras Completas. Volumen I. Escritos de Juventud*. [Trad. J. B. Llinares, D. Sánchez Meca y L. E. de Santiago Guervós]. Madrid: Tecnos. pp. 609-619.
- NORO, J. (1987). “Historia de la Filosofía Moderna”. Cátedra *Historia de la Filosofía Moderna*. Seminario Ntra. Sra. De Nazaret, Diócesis de San Nicolás.
- NUBIOLA, J. (2001). “La búsqueda de la verdad en la tradición pragmatista”. *Tópicos*, Núm. 9, pp. 183-196. Santa Fe (Argentina): Universidad Católica de Santa Fe. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/288/28800909.pdf>
- (2002). Realidad, ficción y creatividad en Peirce. En *Grupo de Estudios Peirceanos*. Disponible en: J. Nubiola: “[Realidad, ficción y creatividad en Peirce](#)”
- (2009). “La razonabilidad de Peirce”. *Studium. Filosofía Y Teología*, Vol. 12, N° 23, pág. 111-120. Disponible en: [La razonabilidad de Peirce | Studium. Filosofía y Teología](#)
- OHM, G. S. (1827). *Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet*. Berlin: T. H. Rieman.
- OLIVERAS, E. (2007). *La metáfora en el arte-Retórica y filosofía de la imagen*. Buenos Aires: Emecé.
- ORTEGA Y GASSET, J. (1908). “Renan”. En Ortega y Gasset, José. (1966). *Obras Completas. Tomo I (1902-1916)*. Séptima Edición. Madrid: Revista de occidente. pp. 443ss.

- (1925). “La deshumanización del arte”. En Ortega y Gasset, José. (1966). *Obras Completas. Tomo III (1917-1928)*, Séptima Edición. Madrid: Revista de occidente. pp. 353ss.
- (1965). “Origen y epílogo de la filosofía”. En Ortega y Gasset, José. (1966). *Obras Completas. Tomo IX (1960-1962)*, Segunda Edición. Madrid: Revista de occidente. pp. 345ss.
- (1985 [1925]). “Las dos grandes metáforas (en el segundo centenario del nacimiento de Kant-1925)”. En Ortega y Gasset, José. *El espectador*. (5ª edición). Madrid: Biblioteca Nueva.
- OWEN, N. (2003). *La magia de la metáfora*. Bilbao: Editorial Desclée De Brouwer.
- PABÓN, J. (2001). *Diccionario Manual Griego (griego clásico-español)*. Colección de Diccionarios VOX. Barcelona: Cremagrafic.
- PEDUZZI, L. O. Q. & ZYLBERSZTAJN, A. (1997). “La física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la mecánica”. *Enseñanza de las Ciencias*, 1997, Vol. 15, N° 3, pp. 351-359.
- PEIRCE, C. S. (1974). *La ciencia de la semiótica*. Buenos Aires: Nueva Visión.
- (1988 [1905]). “Temas del pragmaticismo”. [Trad. de José Vericat]. En *Grupo de Estudios Peirceanos*. Disponible en: [C. S. Peirce: “Temas del pragmaticismo”](#)
- (1988/1903). “Tres tipos de razonamiento”. [Trad. de José Vericat]. En *Grupo de Estudios Peirceanos*. Disponible en: [C. S. Peirce: “Tres tipos de razonamiento”](#)
- (2001 [1901]). “Razonamiento” [Trad. de Sara Barrena]. En *Grupo de Estudios Peirceanos*. Disponible en: [C. S. Peirce: “Razonamiento”](#)
- (2003 [1903]). “Cómo teorizar (sobre la selección de hipótesis)” [Trad. de Sara Barrena]. En *Grupo de Estudios Peirceanos*. Disponible en: [C. S. Peirce: “Cómo teorizar \(sobre la selección de hipótesis\)”](#)
- (2003 [c. 1897]). “Fundamento, objeto e interpretante”. [Trad. de Mariluz Restrepo]. En *Grupo de Estudios Peirceanos*. Disponible en: [C. S. Peirce: “Fundamento, objeto e interpretante”](#)
- (2004 [1906]). “La base del pragmaticismo en las Ciencias Normativas”. [Trad. de Sara Barrena]. En *Grupo de Estudios Peirceanos*. Disponible en: [C. S. Peirce: “La base del pragmaticismo en las ciencias normativas”](#)

- (2009 [1901]). “El tratamiento apropiado de las hipótesis (Capítulo preliminar para un examen del argumento de Hume contra los milagros, en su Lógica y en su Historia)”. [Trad. de Roberto Narváez]. En *Grupo de Estudios Peirceanos*. Disponible en: [Charles S. Peirce: “El tratamiento apropiado de las hipótesis \(Capítulo preliminar para un examen del argumento de Hume contra los milagros, en su Lógica y en su Historia\)”](#)
- PENROSE, R. (1996). *La nueva mente del emperador. En torno a la cibernética, la mente y las leyes de la física*. México: Fondo de Cultura Económica.
- (2006). *El camino de la realidad. Una guía completa de las leyes del universo*. Barcelona: Debate.
- PERCY, W. (1958). “Metaphor as Mistake”. En *The Sewanee Review*. Vol. 66, No. 1, págs. 79-99. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- (1989). *The Message in the Bottle*. Nueva York: Farrar, Straus and Giroux.
- PÉREZ BERNAL, M. (2007). “Metáfora frente a analogía: del pudín de pasas al fuego diabólico. Creatividad expresiva frente a creatividad cognitiva”. *Thémata. Revista De Filosofía*. Núm. 38, 2007.
- PÉREZ DE LABORDA, A. (2005). *Estudios filosóficos de historia de la ciencia*. Madrid: Encuentro.
- PÉREZ FERNÁNDEZ, I. (2022). “Werner Karl Heisenberg, meta-intérprete de la estructura atómica de la materia desde la filosofía de la materia”. En revista *Estudios Filosóficos*, Vol. 25, N° 69, pp. 215-269. Disponible en: <https://estudiosfilosoficos.dominicos.org/ojs/article/view/671>
- PIAGET, J.; INHELDER, B.; GARCÍA, R. & VONECHE, J. (Edit). (1980). *Epistemología genética y equilibración*. Madrid: Fundamentos.
- PIAGET, J. & GARCÍA, R. (1994). *Historia y Psicogénesis de la ciencia*. México: Siglo XXI.
- PIAGET, J. (1991). *Seis estudios de psicología*. Barcelona: Labor.
- PLANCK, M. (1948). *Religion und Naturwissenschaft (Auszug)*. Physikalische Blätter, 4: 175-178. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/phbl.19480040407>
- (1987). *Autobiografía científica*. Buenos Aires: Leviatán.
- PLATÓN. (1872). “Timeo o de la Naturaleza”. En: De Azcárate, Patricio. (1872). *Platón. Obras Completas*. Tomo 6 (El Político, Timeo, Critias). Madrid: Medina y Navarro.
- (1992). “Menón”. En: *Diálogos II: Georgias, Menéxeno, Eutidemo, Menón, Crátilo*. Madrid: Gredos.

- POINCARÉ, H. (1946). *Ciencia y Método*. Colección Austral. Buenos Aires: Espasa Calpe.
- POLIVANOFF, S. (2016). "La via pulchritudinis como camino desde la ciencia hacia la trascendencia". En *Quaerentibus (Teología y Ciencias)*, Año 4, n° 7 julio - diciembre 2016. México: Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Disponible en: <http://quaerentibus.org/q07.html>
- POPPER, K. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- (1991). *Conjeturas y Refutaciones*. Barcelona: Paidós.
- PRESCOTT, A. & MITCHELMORE, M. (2004). *Student Misconceptions about Projectile Motion*. Sídney (Australia): Macquarie University.
- PRIESTLEY, J. (1767). *The History and Present State of Electricity, with original experiments*. London: Printed for J. Dodsley, J. Johnson and T. Cadell. Disponible en: [The History and Present State of Electricity - Google Books](#)
- PRIGOGINE, I. & STENGERS, I. (2004). *La Nueva Alianza. Metamorfosis de la Ciencia*. Madrid: Alianza.
- RANIERI, A. (2004). "Métodos de Exégesis de Antiguo Testamento". Ciclo de Licenciatura en Sagradas Escritura. Facultad de Teología de la Universidad Católica Argentina.
- RAY, M. W., RUOKOKOSKI, E., KANDEL, S., MÖTTÖNEN, M. & HALL, D. S. (2014). "Observation of Dirac monopoles in a synthetic magnetic field". *Nature* 505, pp. 657-660. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nature12954>
- REEVES, H. (1989). *El sentido del universo ¿Tiene futuro la vida?* Buenos Aires: Emecé.
- RESNICK, R. & HALLIDAY, D. (1966). *Física. Para estudiantes de Ciencia e Ingeniería. Parte 1*. México: C.E.C.S.A.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D. & KRANE, K. (2001). *Física Vol. 1*. México: Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V.
- RESTREPO S., G. (1992). "La Concepción Platónica de las Matemáticas". *Revista de Ciencias*. N° 6 (8 de noviembre de 2011), pp. 119-136. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.25100/rc.v6i0.578>
- REY PASTOR, J. & BABINI, J. (1985). *Historia de la Matemática, Vol 1*. Barcelona: Gedisa.
- RICŒUR, P. (1975). *Hermenéutica y Estructuralismo*. Buenos Aires: Megápolis.
- (1977). *La Metáfora Viva*. Buenos Aires: Megápolis.

- (2004). "Tiempo y Narración. La Triple 'Mímesis'". En *Tiempo y Narración*. [Tomo I "Configuración del tiempo en el relato histórico" (5ª ed.). (pp. 113-169)]. Buenos Aires: Siglo XXI.
- (2006). *Del texto a la acción Ensayos de hermenéutica II*. México: FCE.
- RODRÍGUEZ GARCÍA, J. & VIRGÓS ROVIRA, J. M. (1999). *Fundamentos de óptica ondulatoria*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, R. (2005). "Abducción en el contexto del descubrimiento científico". *Filosofía*. Número doble 109/110, pp. 87-97, mayo-diciembre 2005. Universidad de Costa Rica.
- ROJAS, E. (2017). *5 consejos para potenciar la inteligencia*. Barcelona: Booket.
- ROJO, A. (2013). *Conferencia Borges y la Física Cuántica en 1ª Conferencia Internacional de Cultura Científica*, Universidad Nacional Andrés Bello de Santiago de Chile, del 8 al 11 de octubre de 2013 (formato video) Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=yWQtuVybV3g>
- (2019). *Borges y la física cuántica*. Buenos Aires. Siglo XXI Editores.
- ROLLER, D. E. & BLUM, R. (1990). *Física. Electricidad, Magnetismo y Óptica*. Tomo II. Volumen I. Barcelona: Reverté.
- ROSS, D. (1993). *Teoría de las ideas de Platón*. Madrid: Cátedra.
- RUIZ ZÚÑIGA, Á. (2003). *Historia y Filosofía de las matemáticas*. Montes de Oca (Costa Rica): EUNED.
- RUSE, M. (2003). *Darwin and design. Does evolution have a purpose?* Cambridge: Harvard University Press.
- RUSSELL, B. (1995). *Los problemas de la filosofía*. Colombia: Labor.
- RUSSELL, S. & NORVIG, P. (2008). *Inteligencia Artificial. Un enfoque moderno*. México: Pearson-Prentice Hall
- RUTHERFORD, F. J.; HOLTON, G. & WATSON, F. G. (1981). *Project Physics Text*. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- SAGAN, C. (1985). *Cosmos*. Barcelona: Planeta.
- SAMAJA, J. (1996). *El lado oscuro de la razón*. Buenos Aires: JVE Episteme.
- (2004). *Epistemología y Metodología*. Buenos Aires: Eudeba.

- SÁNCHEZ RON, J. M. (2009). *El jardín de Newton. La ciencia a través de su historia*. Barcelona: Ed. Crítica.
- SANTAOLALLA, J. (2022). *¿Qué hace un bosón como tú en un big bang como este? Orgías cósmicas, polvo de estrellas y otras locuras cuánticas*. España: La esfera de los libros.
- SCHRÖDINGER, E. (1957). *Science, theory and man*. New York: Ed. New Dover.
- SCHWARTZ, J. (2006). "The Pernicious Influence of Mathematics on Science". En HERSH, Reuben (Ed.). (2006). *18 Unconventional Essays on the Nature of Mathematics*. [Chapter 13, pp. 231-235]. New York: Springer Science+Business Media, Inc.
- SCHWARTZMANN, F. (2000). *Historia del universo y conciencia*. Santiago de Chile: LOM ediciones.
- SEBEOK, T. & UMIKER-SEBEOK, J. (1979). *Sherlock Holmes y Charles Peirce / El método de la investigación*. (Edición electrónica). Chile: Facultad de Filosofía Universidad de Chile.
- SERWAY, R. & JEWETT, J. (2008). *Física para Ciencias e Ingeniería*. Vol. 1. México Cengage Learning.
- (2009). *Física para Ciencias e Ingeniería*. Vol. 2. México Cengage Learning.
- ŠOPOVA, J. (2018). "Resistir a la monopolización de la investigación. Entrevista a Yoshua Bengio". En *El correo de la Unesco. Inteligencia Artificial. Promesas y amenazas*. Año 2018, N° 3, París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- STICKEL, M. (1988). "A Prolog- like inference system for computing minimum-cost abductive explanations in natural language interpretation". En Stanford Research Institute International (technical note). Menlo Park (California): SRI International
- STRINDBERG, A. (2017). *La sonata de los espectros. El pelícano*. España: Alianza Editorial
- SUAREZ-NANI, T. (2020). "Francisco de Marchia". En Fernández Labastida, F. & Mercado, J. A. (editores), *Philosophica: Enciclopedia filosófica on line*. Pontificia Università della Santa Croce. Disponible en: [10.17421/2035_8326_2020_TSN_1-1](https://www.pontificiauniversitadelsantacroce.it/10.17421/2035_8326_2020_TSN_1-1)
- TAKAHASHI, A. (2006). "El hechizo de Pitágoras el discreto encanto de la geometría". En *Ideas y Valores*, vol. 55, núm. 131, agosto, 2006, pp. 97-111.

- TAUSSIG SCOTT, W. (1969). *Física de la Electricidad y el Magnetismo*. México: C.E.C.S.A.
- TEMPORETTI, F. (2014). “Entre la escalera ascendente y la espiral recurrente. Los procesos de adquisición de conocimiento en tiempos de textos e hipertextos”. *Revista del Instituto de Desarrollo e Investigación para la Formación Docente* (INDI) de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la UNL.
- THOMSON, J. J. (1893). *Notes on recent researches in electricity and magnetism*. Oxford: At the Clarendon press.
- THOMSON, W. (1872). *Papers on Electrostatics and Magnetism*. London, U.K.: Macmillan and Co.
- TIPPENS, P. (2007). *Física. Conceptos y aplicaciones*. Perú: McGrawHill.
- TOMÁS DE AQUINO. (2016). *Cuestiones disputadas sobre la verdad*. Tomo I. Pamplona: Ediciones Universidad de Navarra (EUNSA).
- TURNBULL, N. (1999). *Qué sabes de filosofía*. Barcelona: Ediciones B.
- TURNER, R. (1953). *Las grandes culturas de la humanidad*. México: Fondo de Cultura Económica.
- UNESCO. (2024). *Guía para el uso de IA generativa en educación e investigación*. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- VALLADARES, D. L. & SANZ FERRAMOLA, R. (2011). “Interpretación de Copenhague: de la explicación al instrumento predictivo”. En *Fundamentos en Humanidades*, vol. XII, núm. 23, 2011, pp. 25-35.
- VALLEJO, F. (2005). *Manualito de imposturología Física*. Buenos Aires: Taurus.
- VAN VALKENBURGH; NOOGER & NEVILLE. (1977). *Electricidad Básica* (Vol. 1). B.A.: Bell.
- VASWANI, A.; SHAZEER, N.; PARMAR, N.; USZKOREIT, J.; JONES, L.; GOMEZ, A. N.; ŁUKASZ, K. & POLOSUKHIN, I. (2017). “Attention Is All You Need”. En *31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017)*, Long Beach, CA, USA. Disponible en: <https://research.google/pubs/attention-is-all-you-need/>
- VEGA, L. (1991). Introducción general. En Euclides (1991 [300 a.C.]) *Elementos libros I-IV*. Madrid: Gredos.
- VERICAT, J. (1988). Notas a Peirce. Charles S. (1988/1878). “Cómo esclarecer nuestras ideas”. En *Grupo de Estudios Peirceanos*. Disponible en: [C. S. Peirce: “Cómo esclarecer nuestras ideas”](#)

- VERNEAUX, R. (1984). *Historia de la filosofía moderna*. Barcelona: Herder.
- VEXLER TALLEDO, M. (1998). “Génesis del concepto de ley científica”. *Escritura y Pensamiento*. N° 1, 1998. Perú: Universidad San Marcos de Lima. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/escr_pensam/1998_n1/gen_del_con_ley_cientif.htm
- VICO, G. (1950). *Principios de una ciencia nueva sobre la naturaleza común de las naciones*. Buenos Aires: Aguilar.
- VILANOU, C. (2001). “De la Paideia a la Bildung: Hacia una pedagogía hermenéutica” [Universidad de Barcelona]. *Revista Portuguesa de Educação*, Vol. 14, N° 2, 2001, p. 0. Portugal: Universidade do Minho. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/374/37414210.pdf>
- VILAR, G. (1996). “Prólogo”. En Gadamer, Hans-Georg. (1998). *Arte y verdad de la palabra*. Barcelona-Buenos Aires-México: Paidós.
- VON BALTHASAR, H. U. (1985). *Gloria. Una estética teológica. Vol 1. La percepción de la forma*. Madrid: Encuentro.
- WAKABAYASHI, D. & YOUNG, J. Y. (2024). “‘Quizá no sea un final feliz’: una leyenda del Go, derrotada por la IA, advierte sobre el futuro”. En *The New York Times en español*. Disponible en: <https://www.nytimes.com/es/2024/07/12/espanol/lee-saedol-ia-futuro.html>
- WEDEMEYER, S. (2023). *Solar and stellar physics*. Oslo: University of Oslo. Disponible en: [AST5770_slides_9_new](#)
- WEINBERG, S. (2016). *Explicar el mundo. El descubrimiento de la ciencia moderna*. Barcelona: Taurus.
- (2020). *El sueño de una teoría final. La búsqueda de las leyes fundamentales de la naturaleza*. Barcelona: Crítica.
- WEYL, H. (1996). *Beauty and Revolution in Science*. Ithaca (USA): Cornell University Press.
- WHITTAKER, T. (1884). “Giordano Bruno”. En *Mind*, Vol. 9, No. 34. (Apr., 1884), pp. 236-264. Oxford: Oxford University Press.
- WINDELBAND, W. (1953). *Historia de la Filosofía Antigua*. Buenos Aires: Nova.
- WITTGENSTEIN, L. (2009). *Tractatus Logico-Philosophicus / Investigaciones Filosóficas / Sobre la Certeza*. Estudio Introductorio de Isidoro Reguera. Madrid: Gredos.

- YOUNG, T. & KELLAND, P. (n.d.). *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*. In Two Volumes. Volume 2 - Plates. London: Taylor and Walton. Obra con derechos expirados. Disponible en: [A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts - Google Books](#).
- ZAMORA CALVO, J. M. (2010). Traducción e Introducción a *Platón. Timeo*. Edición bilingüe. Con notas a la traducción y anexos de Luc Brisson. Madrid: Abada Editores.
- ZAVALA, L. (2007). "Elementos de análisis intertextual" en *Manual de análisis narrativo*. México: Trillas.
- ZECHETTO, V. (2002). *La danza de los signos Nociones de semiótica general*. Quito: Ediciones ABYA-YALA.
- ZIMMERMAN, H. (1999). *Tres mil historias de frases y palabras que decimos a cada rato*. Buenos Aires: Aguilar.

ANEXOS

Desvinculadas del saber filosófico, las ciencias particulares se han convertido en especialidades abstrusas separadas del público por un lenguaje esotérico en el cual se expresan mensajes que carecen de sentido para la conciencia del ciudadano común

Guillermo Restrepo, “La Concepción Platónica de las Matemáticas”

Los filósofos no han sido capaces de mantenerse al tanto del avance de las teorías científicas. En el siglo XVIII, los filósofos consideraban que todo el conocimiento humano, incluyendo la ciencia, era su campo. Discutían cuestiones tales como: ¿tuvo el universo un principio? Sin embargo en los siglos XIX y XX la ciencia se hizo demasiado técnica y matemática para los filósofos o cualesquiera otros, salvo unos pocos especialistas... Si descubrimos una teoría completa debería ser comprensible en sus líneas generales por todos, no solo por unos pocos científicos...

Stephen Hawking, “La teoría del todo. El origen y el destino del universo”

ANEXO 1: METÁFORAS INTERPRETATIVAS DEL MOVIMIENTO

A nuestro alrededor encontramos movimiento por doquier, no es de extrañar entonces que la filosofía de la naturaleza o “física” se haya interesado desde antiguo por el estudio del ente móvil. Es entendible que la concepción sobre la naturaleza del movimiento sea un ladrillo básico en el esquema de una teoría física. Como preámbulo a la concepción final galileo-newtoniana encontramos en la Edad Media varias metáforas explicativas del movimiento que influyen en la física de Galileo y de Newton —a la que podríamos sintetizar en la idea de “movimiento inercial” (cf. *infra*: Anexo 2)—. Trataremos tales metáforas a continuación.

§. *Metáfora de la fuerza almacenada*

Básicamente esta metáfora dice que lo que se mueve lleva almacenada una fuerza, es decir, el móvil es un “recipiente” y el impulso dado deja un “contenido” que es la fuerza que lo mueve. Esta metáfora se remonta al astrónomo Hiparco de Nicea (130 a.C.) y tiene variaciones a lo largo de la historia llegando hasta Galileo Galilei e Isaac Newton.

Versión teológica de Francisco de Marchia

El religioso franciscano Francisco de Marchia (c.1290 - c.1349) ofrece una variación metafórica desde la teología: así como Dios deja en los sacramentos su virtud o fuerza, así la mano o el instrumento que lanza los proyectiles deja en él una *virtus derelicta*¹,

1. Fuerza “dejada” en el móvil, cf. De Miguel y el Marqués de Morante (1914, p. 277).

una fuerza que el agente impulsor “abandona” en el móvil. Según Suarez-Nani “Su filosofía de la naturaleza tuvo también un gran eco: encontramos trazas de la teoría del *ímpetus* y la virtud dedericta en Nicolás de Oresme y Buridano” (Suarez-Nani, 2020, nota conclusiva).

Versión de los ímpetus impresos de Juan Buridan

Juan Buridan (1300-1358) ofrece su versión de la metáfora de la fuerza almacenada (teoría de *ímpetus*): “[al arrojar una piedra] queda en la piedra —u otro proyectil— algo impreso que es la fuerza motriz (*virtus motiva*) de ese proyectil. [...] Por lo tanto, me parece que debería decirse que el motor al mover un cuerpo imprime en él un cierto ímpetus o una cierta fuerza motriz en la dirección hacia la cual el motor movía el cuerpo, ya sea hacia arriba o hacia abajo, o lateralmente, o circularmente” (Buridan, 1959, p. 534, traducción propia: H.M.). Es decir, si un cuerpo se mueve recorriendo una circunferencia sobre el piso, es porque la fuerza que lo ha impelido le “imprimió” esa trayectoria al lanzarlo describiendo un arco de la curva (sabemos que esto no se da en la práctica: por más que lancemos un autito de juguete describiendo un arco de círculo con nuestra mano, el autito al ser soltado saldrá disparado tangencialmente a la trayectoria). Buridan entiende que esta fuerza impresa o *ímpetus* almacenado en el cuerpo es permanente pero va disminuyendo por el rozamiento y por la gravedad.

Versión del ímpetus autoextinguible de Nicolau Oresme

Nicolau Oresme (1325-1382) entiende que el *ímpetus* cedido a un cuerpo no es permanente sino que es autoextinguible, más allá de si hay o no rozamiento, el cuerpo se detendrá porque se le habrá extinguido ese *ímpetus* no permanente.

Versión térmica de Galileo Galilei

A la metáfora sustancializadora de la fuerza almacenada que se va gastando, Galilei le agrega una explicación metafórica adicional. La metáfora empleada por Galileo para explicar el movimiento de los proyectiles es la del fuego que calienta los metales. Así como el fuego ejerce una *acción* que calienta los metales, y esa acción permanece como “almacenada” en los metales que quedan “calientes” (metáfora del fluido calórico), de modo semejante la acción de una fuerza motora permanece como almacenada en los cuerpos que son impulsados por ella. Como “el calor” almacenado (la temperatura) va disminuyendo al dejar el fuego, el *ímpetus* o fuerza impresa va disminuyendo también.

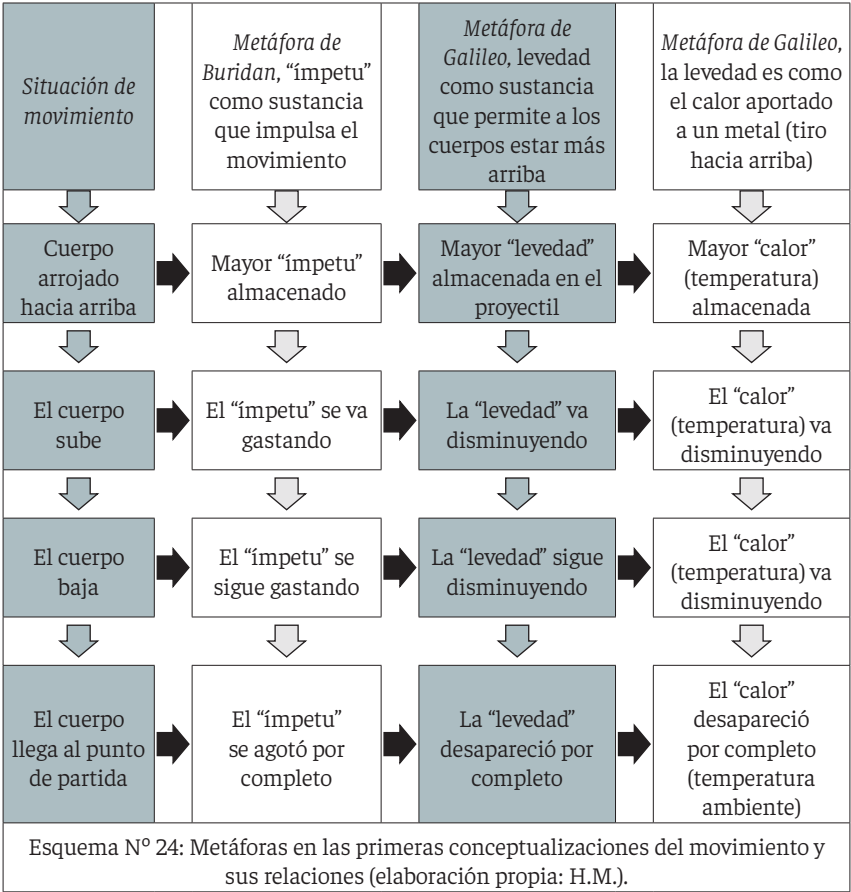
¿Cómo se manifiesta físicamente ese calentamiento? Como “levedad”. Por ejemplo al lanzar un cuerpo hacia arriba, la fuerza impresa lo vuelve “más liviano”, por eso sube, hasta que empieza a caer con lo cual la “levedad” disminuye y se va haciendo cada vez más “grave”. Es interesante para la docencia que un genio como el de Galileo haya errado (como también erró Newton), diría Sigmund Freud: “De error a error se descubre la verdad completa” (S. Freud citado por Namoc Medina, 2021, p. 293) es decir, no todos son “goles”, lamentablemente esto se desconoce y se transmite en ciencia la idea de un ascenso a la verdad por parte de mentes elegidas en una reconstrucción artificial. Volvamos al pensamiento de Galilei, cuando el cuerpo es arrojado hacia arriba —entonces— la “levedad” aumenta:

Tomemos, por ejemplo, el caso de una piedra que se lanza al aire: la piedra sube, luego ha adquirido cierta cualidad o virtud que la hace subir. Y puesto que el hecho de elevarse es propio de los cuerpos leves, lo que la piedra ha adquirido es pues una especie de levedad. Esta levedad (no natural) es

la que explica el movimiento ascendente del móvil: es una *virtus impressa*, una *virtus motiva*. Ahora bien, esta virtud motriz —dicho de otra forma, *levedad*— se conserva en la piedra privada del contacto con el motor, igual que se conserva el calor en el hierro que se calienta, cuando se le retira del fuego. Esta virtud (*impresa* por la acción; del lanzamiento) se debilita progresivamente en el objeto lanzado, al ser separado del lanzador, lo mismo que el calor se debilita en el hierro cuando éste es alejado del fuego. [cf. *De motu*, p. 310] (Galileo, cit. por Koyré, 1980, p. 54)

Galileo Galilei saca todas las consecuencias lógicas de la teoría de *ímpetus*, durante la caída del cuerpo, una vez que la fuerza *impresa* se termina, la única fuerza que queda actuando es el peso, por lo que el cuerpo continúa cayendo ¡con velocidad constante!, tal velocidad es propia de cada cuerpo (lo cual contradice la segunda Ley de Newton) (cf. Koyré, 1980, p. 58-59).

Esquema sobre las metáforas del movimiento de Buridan y de Galileo



§. Pervivencia en la actualidad de las metáforas medievales sobre el movimiento

Puede sorprender que las metáforas recién comentadas no sean sólo imágenes de un pasado rudimentario, varios estudios muestran como siguen influyendo (“escondidas”) en la interpretación del

movimiento, no sólo en la imaginería del hombre común sino también en estudiantes que conocen supuestamente las leyes de Newton (cf. entre otros los estudios de Halloun & Hestenes, 1985; Nina & Ohlssom, 1989; Peduzzi & Zylbersztajn, 1997; Prescott & Mitchelmore, 2004; Covián Regales & Celemín Matachana, 2008).

§. *Aplicación de las metáforas al movimiento de los planetas y satélites*

¿Las metáforas recién referidas son aplicables al movimiento de la Tierra en torno al Sol o de la Luna en torno a la Tierra? Quizás admitiendo un ímpetus buridano circular que no se extingue, lo cual es problemático para una mentalidad influida por Aristóteles que entiende que todo lo que se mueve tarde o temprano se detiene porque el estado “natural” de los cuerpos es el reposo (cf. *infra*: metáfora “del cansancio” de los cuerpos en Anexo 2). Pero aun aceptado que la fuerza almacenada no se extingue cabe preguntar ¿quién dio el impulso inicial? Al respecto comenta Karen Armstrong: “En la física de Newton la naturaleza era completamente pasiva: Dios era la única fuente de actividad” (Armstrong, 1995, p. 351). Así, Dios le era necesario para dar el impulso inicial y poner todo el cosmos en movimiento. ¿Pero cómo asumir una boleadora sin cuerda (cf. *supra* Figura N° 12 en Capítulo 4)?

Como vimos en el Capítulo 4, las investigaciones modernas de Newton sobre la ley de atracción universal insinuaron una misteriosa “acción a distancia” entre masas o cuerpos físicos que entre otras cosas permitía a los planetas describir órbitas en torno al Sol. En otras palabras se empezó a hablar y a discutir en el ámbito científico cómo es posible que existan fuerzas entre cuerpos que no se tocan por ningún lado, que están separados como lo están la Tierra y el Sol.² Esto fue un cimbronazo difícil de asumir, ya que

2. La “acción a distancia” es un gran problema que Newton no resuelve ¿cómo es posible una “acción sin contacto”? Hoy a nosotros puede resultarnos un tema no demasiado trascendente porque estamos habituados a dispositivos como

hasta entonces el sentir común era que las fuerzas se transmitían entre cuerpos por contacto entre los mismos, de la misma manera que nosotros —por ejemplo— somos “empujados” por el *contacto* con otras personas o cuerpos o elementos fluidos como el viento o el oleaje del mar.³

Desde esta idea de la experiencia familiar de fuerzas por contacto, el filósofo y matemático René Descartes (1596- 1650) propuso una metáfora explicativa —de gran influencia— para concebir el movimiento de los cuerpos celestes.⁴

§. *Metáfora de los torbellinos de Descartes*

Según Descartes los cuerpos celestes eran impulsados por “torbellinos” o vórtices formados en el seno de un fluido sutil que como los remolinos del agua arrastran los objetos inmersos o flotantes (cf. Descartes, 2002, p. 138), comenta Manuel De la Revilla en la introducción a la obra filosófica de Descartes:

Con arreglo a esta doctrina, el vacío no existe;⁵ los cielos están llenos de una sustancia líquida, cuyas partículas pueden ser

los “controles remotos” (especie de “acción a distancia” metafórica). Gottfried Leibniz, contemporáneo de Newton, advierte el problema: decir que “los cuerpos celestes se atraen por la ley de gravitación” es lo mismo que decir que ellos “son mantenidos en su órbita por Dios”, lo cual es una afirmación teológica pero no científica-experimental (ver la correspondencia sobre este tema entre Newton y Leibniz reproducida por Pérez de Laborda, 2005, p. 515-517).

3. Esta concepción “física” de las fuerzas abarcaba también la teoría medieval de *impetus* de Buridan a la que también adhirieron inicialmente Galileo y Newton como hemos visto. Postular la existencia de una fuerza que “actúa a distancia” se vio —más que física— como metafísica o teología o magia. Cabe decir que actualmente se sigue debatiendo si Newton creyó —o en qué sentido lo hizo— en una “acción a distancia” (cf. Henry, 2007).

4. Esta metáfora influyó —claro— en Newton como vimos (cf. *supra*: Capítulo 4).

5. Para Descartes, la *res extensa* o materia es infinita, todo lo llena, es por tanto divisible hasta el infinito, es decir, no existen átomos o porciones mínimas y

determinadas a moverse en todas direcciones, y cuando son movidas todas a la vez en un mismo sentido, deben necesariamente llevar consigo [arrastrar] todos los cuerpos que ciñen y rodean, a no ser que se lo impida una causa exterior. La materia del cielo, donde se hallan los planetas, gira circularmente sin cesar, como un torbellino, en cuyo centro estuviera el Sol. Las partes más próximas a este se mueven más aprisa que las más apartadas, y todos los planetas, incluso la Tierra, permanecen siempre suspendidos entre unas mismas partículas de la sustancia del cielo. (De La Revilla en Descartes, n.d., Introducción, p. XXVIII) (nota al pie propia: H.M.)

Esta metáfora explicativa le sirve a Descartes para no sólo explicar el movimiento de traslación de la Tierra y los planetas alrededor del Sol sino que también le permite explicar el movimiento de los satélites en torno a los planetas (como la Luna en torno a la Tierra) y el movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje (como suele suceder en los cuerpos que son arrastrados por un vórtice acuoso) (cf. Descartes, 2002, p. 139-140).

últimas de materia (ni el vacío interatómico que ellas podrían habilitar a suponer) (cf. De La Revilla en Descartes, n.d., Introducción, p. LXII)

ANEXO 2: METÁFORAS IMPLICADAS EN LAS 3 LEYES DEL MOVIMIENTO NEWTONIANAS

En el Capítulo 4 vimos los “elementos” con los que Newton trabaja en *Principia* para elaborar su construcción teórica. Ellos son la metáfora de la honda o boleadora (Definición V de *Principia*, Newton, 1982, p. 29) y las 3 leyes del movimiento (Newton, 1982, p. 41-42). Para arribar a estas 3 leyes Newton debió purificar (con la ayuda de Robert Hooke) la interpretación de la metáfora de la honda, despejándola de los resabios de la metáfora de la fuerza almacenada (cf. Anexo 1) y la de los torbellinos de Descartes (cf. Anexo 1). Recordemos que tal purificación se realiza en coherencia con un “sistema de diez metáforas” que hemos señalado (cf. Esquema N° 14 y esquema N° 15 en el Capítulo 4). En este Anexo analizamos el proceso metafórico realizado para arribar a estas leyes cuyos enunciados son los siguientes:

- Ley I: Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas.⁶
- Ley II: El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la recta en que se imprime esa fuerza.⁷

6. “La primera de las leyes es la de la inercia, ya antes enunciada con mayor o menor precisión por Descartes, Galileo, Huygens, [...] aceptada por los matemáticos, como dice Newton” (Rada en Newton, 2011, p. 32).

7. “En la segunda, establece la proporcionalidad entre los cambios de estado inercial (de reposo o movimiento) y las fuerzas impresas según la dirección recta de la acción de estas” (Rada en Newton, 2011, p. 32).

- Ley III: Para toda acción hay siempre una reacción opuesta e igual. Las acciones recíprocas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias.⁸ (Newton, 1982, p. 41-42).⁹

§. Primera ley vs. metáfora del cansancio y de la fuerza almacenada

La ley de inercia fruto de experimentos mentales

Un libro clásico de Física para Ingeniería al que ya nos hemos referido —Resnick & Halliday— señala el carácter hipotético y no probado empíricamente de la primera ley.¹⁰ “Es importante darse

8. “La tercera es la ley de la acción y reacción. Su origen en Newton se relaciona con sus estudios de los impactos [y...] tiene aquí una particular aplicación (‘esta ley también tiene lugar en las atracciones’ [aquí Newton está pensando en la atracción mutua de los cuerpos celestes como pares de acción y reacción]), como apostilla él mismo al tratar de justificarla. Su aplicación en el estudio de los impactos ya había dado sus frutos y ahora en su aplicación a la gravedad iba a dar más, pese a que la fuerza impresa en los impactos cuadre bien con ‘la mera acción que no permanece después en el cuerpo’ y en cambio no cuadre tanto con la atracción, que es continua. En el Escolio, hace Newton repaso y homenaje de los predecesores en el uso de estas leyes y trata de dar carta de naturaleza y noble ascendencia a esta tercera.” (Rada en Newton, 2011, p. 32) (aclaración entre corchetes propia: H.M.).

9. Según Rada (en Newton, 2011, p. 32) estas tres leyes son la quintaesencia de un largo conjunto de axiomas que figuran en manuscritos previos a *Principia*: “Newton reduce un largo conjunto de axiomas, leyes, y lo que acabó por denominar hipótesis a tres leyes, seis corolarios y un escolio” (Rada en Newton, 2011, p. 32).

10. “Si quisiéramos probar estas ideas de manera experimental, tendríamos que hallar primero una forma de liberar a un cuerpo de todas las influencias de su entorno o de todas las fuerzas. Esto es difícil de lograr, pero en ciertos casos podemos hacer que las fuerzas sean muy pequeñas. Si estudiamos el movimiento al hacer más y más pequeñas las fuerzas, tendremos alguna idea de cómo sería el movimiento si las fuerzas externas fuesen realmente cero.” (Resnick, Halliday & Krane, 2001, p. 88). Como vemos en la Primera Ley hay una necesaria “reducción” de la “evidencia empírica”, ya que nuestra experiencia nos dice que todo lo que

cuenta que este principio [de inercia] no ha sido probado real y verdaderamente, sino que representa una generalización de la experiencia” (Resnick & Halliday, 1966, p. 107). Esta generalización se produce restando realidad empírica (por “disección”, cf. *supra*: *Mapa matemático y territorio físico* en Capítulo 7) y de algún modo elaborando un experimento mental. Resnick, Halliday & Krane dicen respecto de la primera ley que tiene su origen en Galileo Galilei: “Antes de Galileo la mayoría de los filósofos pensaban que se necesitaba cierta influencia o ‘fuerza’ para mantener a un cuerpo en movimiento. Ellos pensaban que un cuerpo estaba en su ‘estado natural’ cuando estaba en reposo” (Resnick, Halliday & Krane, 2001, p. 88).

Las metáforas del cansancio y de la fuerza almacenada

Los filósofos anteriores a Galileo que consideraban que el estado natural de los cuerpos era el reposo, se basaban en la autoridad de Aristóteles y en el sentido común fundado en la *praxis* de todos los días: todo lo que se mueve termina finalmente por detenerse. Pero al decir que el estado natural era el reposo no se hacía referencia a ninguna otra causa física como podría ser el rozamiento. El movimiento antinatural fue atribuido en el medioevo a la fuerza almacenada (teoría de *ímpetus*, cf. *supra*: Anexo 1) y el cese del movimiento a su agotamiento. El físico teórico Michio Kaku recupera una metáfora antropológica al decir que algunas interpretaciones medievales de Aristóteles establecían que los cuerpos impulsados finalmente se detienen “porque se cansan” (Kaku, n.d., min. 6, seg. 26ss).

se mueve tarde o temprano termina detenido por el rozamiento por mínimo que sea y por la influencia de otros cuerpos. En otras palabras, no se puede comprobar experimentalmente al no ser posible reducir a cero las influencias externas al móvil.

Primer experimento mental de Galileo

Pero Galileo llega a la consideración de un movimiento perpetuo mediante la experiencia y un experimento mental: él notó que cuanto menos rugosa era una superficie, mayor distancia recorría una bola arrojada desde un plano inclinado. Por lo que imaginando un rozamiento nulo postuló: “si no hay interferencia para un objeto en movimiento, se mantendrá moviéndose en línea recta por siempre; no hace falta un empujón, ni tracción ni fuerza” (Hewitt, 2007, p. 25-26). En la vida real siempre hay alguna fuerza de rozamiento que se opone al movimiento, por lo que “La esfera llega al reposo finalmente no por su ‘naturaleza’, sino por la fricción” (p. 25-26).

Segundo experimento mental de Galileo

A la aseveración de la primera Ley la apoyaba un experimento distinto que también se resolvió mediante un experimento mental:

Galileo colocó dos de sus planos inclinados uno frente a otro. Observó que una esfera, soltada desde el reposo [desde el punto A, ver Figura N° 35a] en la parte superior de un plano inclinado hacia abajo, rodaba [inicialmente] hacia abajo y después hacia arriba por la pendiente inclinada [...] hasta que casi llegaba [subiendo por el plano inclinado opuesto al de lanzamiento] a su altura inicial [hasta el punto B ver Figura N° 35a] [...] A continuación redujo el ángulo del plano inclinado hacia arriba. De nuevo, la bola subió casi hasta la misma altura, pero tuvo que ir más lejos [ver Figura N° 35b]. Con reducciones adicionales del ángulo obtuvo resultados parecidos: para alcanzar la misma altura, la esfera tenía que llegar más lejos cada vez. Entonces se preguntó: “Si tengo

un plano horizontal largo. ¿Hasta dónde debe llegar la esfera para alcanzar la misma altura?” La respuesta obvia es “hasta el infinito: nunca llegará a su altura inicial” [ver Figura N° 35c]. (Hewitt, 2007, p. 25-26) (aclaraciones entre corchetes propia: H.M.)

Resumimos el segundo experimento mental de Galileo en la siguiente figura:

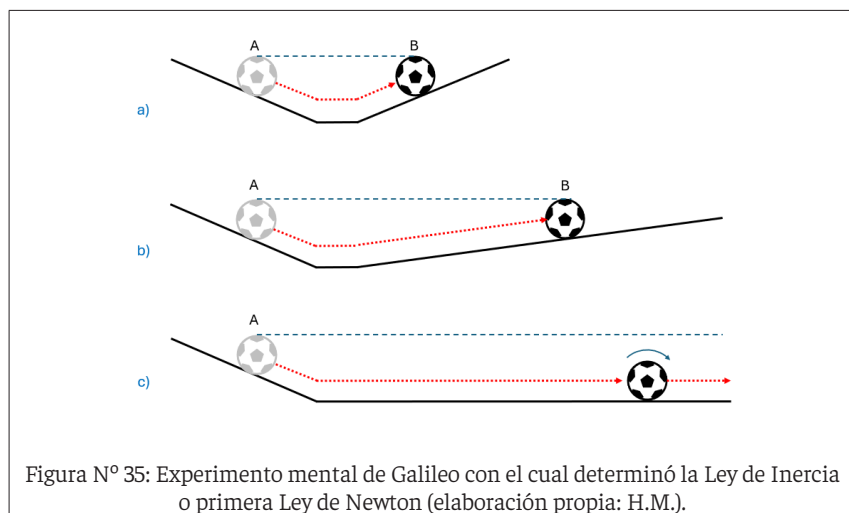


Figura N° 35: Experimento mental de Galileo con el cual determinó la Ley de Inercia o primera Ley de Newton (elaboración propia: H.M.).

§. Segunda Ley: metáfora de la honda vs. metáforas previas

Respecto de la segunda Ley, Resnick & Halliday (1966, p. 113) comentan que Newton entiende por “movimiento” lo que hoy se llama “cantidad de movimiento lineal”, esto es, la multiplicación de la masa del cuerpo por su velocidad. Esta ley “establece que la fuerza produce una variación en el momento de un corpúsculo que es proporcional a la fuerza aplicada (el momento de un corpúsculo es el producto de la masa por su velocidad)” (Berkson, 1981, p. 40). Esta ley que no aparece en forma de ecuación en *Principia*, ha pasado a

la historia de la Física como $F = m \cdot a$ dónde F es la fuerza impresa, m la masa del cuerpo y a la aceleración impresa por la fuerza F al cuerpo de masa m .¹¹

La metáfora de la honda o boleadora de Huygens-Newton perfeccionada por Hooke dice que si la cuerda de la honda se corta, la piedra sale disparada inicialmente en línea recta y tangente a la trayectoria (al eliminarse la fuerza centrípeta, de acuerdo a la segunda Ley, la aceleración —suponiendo rozamiento despreciable— debe ser cero, esto implica una trayectoria uniforme rectilínea). Esto va en contra de la teoría de ímpetus medieval de Buridan que establecía —en base a la *metáfora de la fuerza almacenada*— que si un cuerpo se mueve recorriendo una circunferencia sobre el piso, es porque la fuerza que lo ha impelido le “imprimió” esa trayectoria al lanzarlo describiendo un arco de la curva (sabemos que esto no se da en la práctica: por más que lancemos un autito de juguete describiendo un arco de círculo con nuestra mano, el autito saldrá disparado tangencialmente a la trayectoria al soltarlo). También la metáfora de la honda elimina la necesidad de los vórtices cartesianos, basados en la metáfora de los torbellinos acuáticos. Como observamos hay metáforas que permiten entender correctamente y otras que desvían inicialmente de lo cierto.

§. Tercera ley: metáfora de la honda vs. los vórtices acuáticos

Respecto de la tercera Ley, parece ser pensada por Newton para dar sustento a la “tensión” que aparece en esa “cuerda invisible” (ana-

11. La conocida como “2ª Ley de Newton” es una de las ecuaciones más famosas y básicas de toda la Física. En el Libro I, Proposición I, Teorema I de *Principia*, Newton aplica la “regla del paralelogramo” para la adición de magnitudes vectoriales tanto al movimiento curvilíneo de un proyectil (ámbito terrestre) como al de un planeta (ámbito de los cielos): lo hace dinámicamente combinando la variación en la cantidad de movimiento del móvil con el impulso de la fuerza de gravedad (Newton, 1982, p. 74).

logía de la honda o de la “boleadora”) que parece tener atados a los planetas en torno al Sol o a las lunas en torno a los planetas: la cuerda “debe ser jalada por ambos extremos con fuerzas iguales y opuestas, ya que es imposible tensionar una cuerda jalándola desde un solo extremo, en cuyo caso sólo sería arrastrada en la dirección de la fuerza” (Karles Gómez, 1988, p. 257).

Así Resnick, Halliday & Krane (2001) entienden las acciones mutuas gravitacionales como “pares de acción y reacción” conformes a la tercera Ley y a la “acción a distancia”, también lo entienden así Ling, Sanny & Moebs (2021):

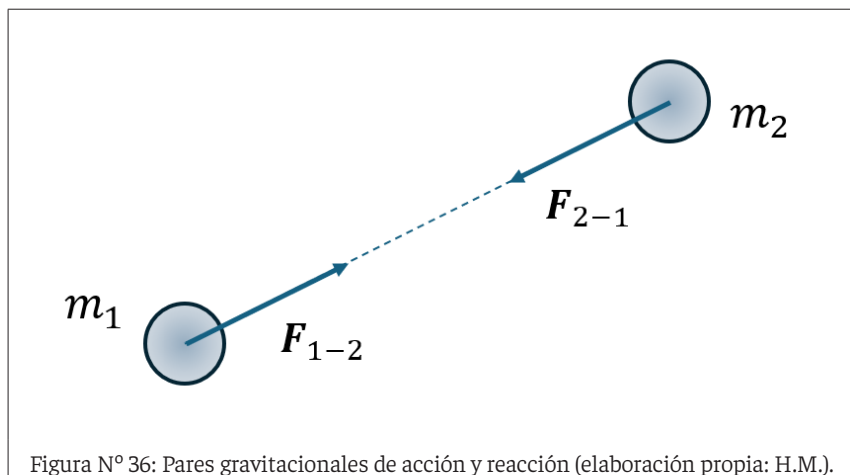


Figura N° 36: Pares gravitacionales de acción y reacción (elaboración propia: H.M.).

La fuerza F_{1-2} es ejercida sobre m_1 por m_2 y la fuerza F_{2-1} es ejercida sobre m_2 por m_1 siendo $F_{1-2} = -F_{2-1}$ un par acción-reacción (el signo menos en la ecuación anterior significa que las fuerzas son de igual intensidad, de igual dirección pero de sentido opuesto).

Eloy Rada señala el problema de la acción a distancia en el caso de los pares de acción y reacción gravitacionales:

En cuanto a la tercera [ley] [...] el esfuerzo de Newton por darle una justificación empírico-intuitiva, con ejemplos de mecánica empírica o de trabajo es un indicio de su fragilidad teórica. Además,

y este será un problema que no alcanza a la fuerza impresa en los impactos, ¿cómo ejercer acción y reacción a distancia?, esto es, ¿cómo ejercerla sin impacto, sin medio físico interpuesto que transmita la acción o la reacción? Los vórtices cartesianos, materiales como eran, bien podían cumplir con este cometido mecánico, pero con la supresión del medio vorticial o etéreo u otro cualquiera no hay forma física de transportar la acción. (Rada en Newton, 2011, p. 33) (aclaración entre corchetes y subrayado propios: H.M.)

La referencia a la supresión de los vórtices cartesianos en la cita anterior se debe a lo siguiente: dichos vórtices eran tenidos por Descartes como un medio material que mantenía a los planetas en sus órbitas (análogo al vórtice en el agua que arrastra circularmente a un objeto flotante, cf. *supra*: *Metáfora de los torbellinos de Descartes* en Anexo 1). Al final del libro II de *Principia* (sobre el movimiento en medios resistentes) Newton demuestra (justamente mediante el trabajo con vórtices en agua) que tales vórtices “no convienen” a su cuerpo axiomático (y sobre todo a la ley que dice que la fuerza de gravitación depende del cuadrado de la inversa de la distancia), por lo que los suprime por no encajar en su sistema. Respecto de la acción a distancia (suprimidos los vórtices cartesianos por no encajar) Newton dice que no hará hipótesis sobre su causa, leemos en el “Escolio General”:

Hasta aquí hemos explicado los fenómenos de los cielos y de nuestro mar por la fuerza gravitatoria, pero no hemos asignado aún causa a esa fuerza [...] Pero hasta el presente no he logrado descubrir la causa de esas propiedades de gravedad a partir de los fenómenos, y no finjo hipótesis. Pues todo lo no deducido a partir de los fenómenos ha de llamarse una hipótesis, y las hipótesis metafísicas o físicas, ya sean de cualidades ocultas o mecánicas, carecen de lugar en la filosofía experimental. En esta filosofía las proposiciones particulares se infieren a partir de los fenómenos, para luego generalizarse mediante inducción. (Newton, 1982, p. 620-621)

La metáfora de la honda: el problema de la acción a distancia

Ya hemos mencionado (en *supra*: *Metáfora de los torbellinos de Descartes* en Anexo 1) que la “acción a distancia” es un gran problema que Newton no resuelve lo cual genera una discusión con Leibniz, quien le advierte que decir que “los cuerpos celestes se atraen por la ley de gravitación” es lo mismo que afirmar que “son mantenidos en su órbita por Dios” (cf. Pérez De Laborda, 2005, p. 515-517). Para Newton parece que *demostrar* una proposición es *mostrar* su validez, para Leibniz *demostrar* incluye también conectar el efecto contenido en la proposición con una causa. La cabal *demonstración* de la ley de gravitación —para Leibniz— exige que se le dé una causalidad mecánica es decir explicar *por qué* los cuerpos se atraen de ese modo (pero nosotros advertimos que el retroceso en las causas mecánicas hasta una causa primera termina en una causa incausada ¿cómo la llamamos o sostenemos?). En la correspondencia entre Leibniz y Newton —ya aludida— publicada en una revista de su época (reproducidas por Pérez De Laborda, 2005, p. 515-517), Leibniz manifiesta que la ley de gravitación de Newton no deja de ser un “milagro natural” no muy distinto al sobrenatural. Newton le responde que con ese criterio de retroceder a las causas “Lo mismo habría que decir de la dureza”, aclarando que el pensamiento del hombre no es “totalmente mecánico”, hay leyes cuya causa hay que buscarla en Dios creador y allí se terminó la cuestión. Según Eloy Rada para comprender el alcance del estudio de Newton en el Libro III de *Principia* (El Sistema del Mundo), hay que salir del “esquema positivista” pues:

[...] para Newton el concepto de naturaleza incluía a Dios como esencia o parte de la misma y que las manifestaciones, “fenómenos”, de la naturaleza en sus diferentes estados y “grados de cualidades” eran también fenómenos de la divinidad (Rada en Newton, 2011, p. 40) (subrayado propio: H.M.)

Por lo que quizás estemos cayendo en un anacronismo al pedirle a Newton precisiones al modo positivista, hoy pediríamos esa exactitud pero creemos que a Newton le bastó con la aproximación sostenida por su creencia en un Dios matemático. Volvamos a leer sus palabras: “En filosofía experimental debemos recoger proposiciones verdaderas o muy aproximadas inferidas por inducción general a partir de fenómenos” (Newton, 1982, p. 463) (subrayado propio: H. M.).

La hipótesis de Dios como gran artesano

En el Escolio General con el que termina *Principia* Newton reconoce detrás del orden la presencia de Dios dueño de todo y por tanto gobernante (Newton, 1982, p. 586-587, cf. p. 617ss). En este Escolio también admite —como vimos— que si bien desconoce la causa de la gravedad él “no hace hipótesis” (Newton, 2011, p. 588-589, cf. Newton, 1982, p. 617ss). Concluyendo que si bien la “acción gravitatoria a distancia” es difícil de sostener quizás exista un espíritu sutilísimo que todo lo llena y es responsable de dichas acciones (Newton, 2011, p. 589, cf. Newton, 1982, p. 617ss). Esto sintoniza con su metáfora de la emanación (cf. Capítulo 4 y Capítulo 12).

ANEXO 3: REVESTIMIENTO MATEMÁTICO DE LA METÁFORA NEWTONIANA DE LA BOLEADORA

A continuación reconstruiremos el proceso de matematización de la metáfora newtoniana de la boleadora, arribando a la expresión de la Ley de Gravitación tal como ha llegado hasta nosotros. Como primer eslabón haremos referencia a las metáforas empleadas por Johannes Kepler.

§. *Las metáforas de Kepler*

La 2da. Ley de Kepler desde la metáfora de los tientos solares

Influido por la metáfora aristotélica del cansancio (cf. Anexo 2), Johannes Kepler (1571-1630) pensaba que el estado natural de los cuerpos era el reposo¹² por lo que se necesitaba un impulso permanente para mantener a los planetas y a los satélites en movimiento. Además, una metáfora de William Gilbert le sugirió que desde el Sol emanaban tientos o cadenas que “impulsaban” a los planetas lateralmente¹³, con una fuerza cuya intensidad dependía del inverso de la distancia al Sol (cf. Rada en Newton, 2011, p. 22), es decir: $F \propto \frac{1}{r}$ (donde el símbolo $\propto$ significa proporcionalidad y r es el radio de la

12. Aristóteles seguía influyendo en la mentalidad científica de la época desde la concepción de sentido común que todo lo que se mueve permanentemente necesita ser empujado, es decir, no se admitía aún el principio de inercia estudiado por Galileo y establecido en la 1ª Ley del movimiento de Newton.

13. En esta concepción del empuje tangencial podemos observar conexiones con la teoría de los torbellinos acuáticos de Descartes (cf. Anexo 1).

trayectoria circular¹⁴). Así, la velocidad del planeta —razonaba erróneamente Kepler— debía ser proporcional a la fuerza que le impulsa y, por tanto, inversamente proporcional a la distancia: $v \propto \frac{1}{r}$.

De acuerdo con esta expresión errónea, Kepler razona entendiendo que el *tiempo* que tarda un planeta en recorrer un pequeño arco de su trayectoria debe ser inversamente proporcional a su velocidad y en consecuencia —de acuerdo con la expresión $v \propto \frac{1}{r}$ — proporcional a su distancia al Sol: $t \propto \frac{1}{v} \propto \frac{1}{1/r} = r$.

Kepler se propuso, entonces, calcular el tiempo que tarda el planeta en cubrir un segmento grande de la trayectoria [...] sumando las distancias planeta-Sol para cada uno de los pequeños arcos que componen este gran segmento. Él suponía que la suma de estas distancias era igual al área barrida por la línea trazada desde el Sol al planeta:
 $t \propto \text{Área barrida por la línea del planeta} - \text{Sol}$
 (Holton & Brush, 1993, p. 63).

Esta última expresión es en esencia la segunda ley de Kepler: *una recta trazada del planeta al Sol barre áreas iguales en tiempos iguales*. A pesar de la inexactitud señalada de las hipótesis utilizadas en su deducción original, la ley se considera correcta en la descripción del movimiento de cualquier planeta alrededor del Sol y también del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra y de un satélite alrededor de cualquier planeta.

La 1ra. Ley y la metáfora del Dios geómetra

J. Kepler fue un seminarista protestante de Malthersbaun que se basó en la metáfora del artesano divino en una versión moderna

14. La obtención de la primera Ley de Kepler sobre las trayectorias elípticas fue históricamente posterior a la conocida como segunda Ley que es la de las áreas.

extrema. Razonó así: la geometría es la perfección y es coeterna con Dios, ella precedió a la creación, en ella tuvo Dios un modelo para la creación y como Dios no tiene partes, Dios mismo es la geometría (cf. Sagan, 1985, Capítulo 3).

Kepler se traslada con estas ideas a Tubinga, allí le influenció un profesor de matemáticas, Michael Maestlin, partidario de la teoría heliocéntrica de Copérnico a la que Kepler adhirió inmediatamente. La simplicidad a la que se arribaba en base a su ordenamiento planetario tenía que haber sido el plan geométrico de Dios.

Kepler fue fuertemente influido por *el Timeo* de Platón y la tradición pitagórica y neoplatónica. En una de sus primeras publicaciones ligó las distancias al Sol de los seis planetas conocidos (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno, Tierra, cf. Newton, 1982, p. 468) con los cinco sólidos regulares platónicos (cf. Sagan, 1985, Capítulo 3). Estos poliedros regulares eran cada uno inscribible en una esfera y circunscribible en otra esfera de mismo centro. La hipótesis de Kepler fue que los cinco intervalos que existen entre los seis planetas conocidos no pueden ser fruto del azar sino del Creador que actuó como un geómetra para dar al mundo su perfección. Kepler publicó estas teorías en 1596 lo que le dio cierta notoriedad.

El astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601) confía a Kepler el estudio de la órbita de Marte (pues este planeta presentaba desde la antigüedad anomalías en su movimiento hasta ese entonces imposibles de explicar).¹⁵ Luego de su muerte, Kepler continuó sus observaciones. Pero al intentar hacer encajar los nuevos datos de la órbita de Marte al sistema copernicano con movimiento circular uniforme, Kepler halló después de cuatro años de trabajo que esto no podía hacerse: la órbita de Marte resultaba ocho minutos de arco fuera del esquema de Copérnico. Algo de la teoría copernicana no encajaba con la precisión de las nuevas observaciones. A partir

15. Tycho Brahe aportó grandes mejoras en las observaciones astronómicas ya que sus datos eran de una precisión superior a medio minuto de arco (más de veinte veces mejores que las de Copérnico) (cf. Holton & Brush, 1993, p. 57-67).

de las observaciones acumuladas, Kepler se da cuenta de que hay que rechazar la teoría “teológica” de los movimientos circulares uniformes y órbitas diseñadas a partir de los sólidos platónicos. La solución estaría en modificar la forma de las trayectorias de circunferencias a elipses, en consecuencia si se admitía que la elipse era la trayectoria natural de los cuerpos celestes, se obtenía un esquema geométrico de gran simplicidad “en el cual *todos los planetas se mueven en órbitas elípticas, con el Sol en uno de los focos*” (Holton & Brush, 1993, p. 59).

Las armonías del mundo y la tercera Ley de Kepler

Las dos primeras leyes de Kepler recién referidas —y luego de 17 años de estudios— fueron publicadas en 1609 en su *Astronomia Nova* (Kepler, 1609). Pero Kepler estaba insatisfecho, ya que estaba convencido —siempre por motivos teológicos— que debía existir alguna regla o relación entre los movimientos de los distintos planetas que permitiera expresar el movimiento del sistema solar de forma más simple y armoniosa. Esta búsqueda de simplicidad y armonía o uniformidad de la naturaleza caracterizará la nueva ciencia que comienza a erigirse: “Él buscaba esta regla, incluso en el dominio de la teoría musical, esperando, como los partidarios de Pitágoras [...], encontrar una conexión entre las órbitas planetarias y las notas musicales; su gran trabajo (1619) se tituló *Las armonías del mundo*” (Holton & Brush, 1993, p. 65).

En esta obra Kepler publica su tercera ley que se denomina la *ley armónica* por establecer una bella relación entre los planetas. Dice que si T es el período de un planeta dado (esto es, el tiempo que tarda en dar una revolución completa en su órbita alrededor del Sol), y r el radio medio de su órbita, entonces: $T^2 = K \cdot (r)^3$, donde K es una constante que tiene el mismo valor para todos los planetas. La mayor parte de las trayectorias planetarias son “casi” circulares, de tal modo que r es, entonces, el radio de la órbita circular.

Las tres leyes de Kepler ya contienen en potencia la ley del cuadrado inverso para una fuerza de naturaleza central o centrípeta, pero Kepler no podía llegar a esta consecuencia pues le faltaban herramientas matemáticas (esto es, el cálculo diferencial de Leibniz o fluxional de Newton) y filosóficas (el estado “natural” de un cuerpo no era el reposo sino también el movimiento rectilíneo uniforme —ley de inercia—).

§. *La metáfora de la honda de Huygens*

Un salto metafórico importante en la línea correcta lo dieron Christiaan Huygens (1629-1695) por un lado y Robert Hooke (1635-1703) de la *Royal Society* de Londres por otro: sospechaban que la fuerza que mantenía como sujetos a los planetas alrededor del Sol era similar a la que un objeto atado en movimiento (como en una honda o boleadora, cf. *supra* Figura N° 12 de Capítulo 4) sufre por efecto de la cuerda, tiento o cadena que lo sujeta al cuerpo central. En 1673 Huygens estableció algunos teoremas sobre la fuerza centrífuga para un movimiento circular como el recién mencionado arribando a la conocida expresión de la proporcionalidad inversa de la intensidad de la fuerza centrífuga con la distancia¹⁶ $F \propto \frac{v^2}{r}$.

16. Huygens en *Horologium Oscillatorium* estableció 13 sentencias o “teoremas sobre la fuerza centrífuga para el movimiento circular” (la fuerza es “centrípeta” si la consideramos como experimentada por el móvil y aparentemente o ilusoriamente “centrífuga” si la consideramos como experimentada por el punto fijo de giro). Tomaremos algunos de ellos estudiando el caso que en esta investigación hemos llamado honda o “boleadora” (mantenemos la numeración presente en la obra de Huygens):

II) Si dos pequeños objetos iguales recorren circunferencias desiguales con la misma velocidad, entonces las intensidades de las fuerzas centrífugas de estos están en la razón inversa de los diámetros. Escribiendo estas relaciones en lenguaje matemático y en función de los radios: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_2}{r_1}$, o bien: $F \propto \frac{1}{r}$.

III) Si dos objetos pequeños iguales se transportan alrededor de circunferencias iguales con desiguales velocidades, y cada uno mantiene un movimiento cons-

La recepción de la metáfora de Huygens por Newton

A esta última expresión arriba Newton, pero a diferencia de Huygens no publica el resultado. Para un estudiante de física básica, la expresión anterior es conocida, ya que $\frac{v^2}{r}$ es la expresión de una *aceleración centrípeta*, que multiplicada por la *masa* del cuerpo en revolución arroja el valor de la *fuerza centrípeta*. Pero el camino de Newton para interpretar esta fuerza como *centrípeta* fue largo, ya que en sus primeras intuiciones sobre la metáfora de la boleadora de Huygens, pensaba que la fuerza actuante era “centrífuga” es decir la piedra que gira atada por la cuerda se esfuerza por alejarse “radialmente” del centro.

Según esta idea errada, si la cuerda se corta la piedra de la honda saldría disparada radialmente y no tangencialmente (los genios también se equivocan). Newton suponía que la fuerza de tensión de la honda —similar a la gravitatoria— era una fuerza que se oponía a que el cuerpo saliera disparado radialmente (lo cual es un error, ya que la tensión de la cuerda es responsable del cambio de dirección del movimiento del cuerpo en rotación) (cf. Rada en Newton, 2011, p. 11). Este error de Newton fue corregido por Hooke y gracias a este “gigante” pudo cambiar su concepción de *fuerza centrífuga* a *centrípeta*.

No obstante el error conceptual, Newton arriba en sus primeros bocetos de la Ley de gravitación a una dependencia de

tante, tal como queremos que se entienda en estos teoremas, entonces la relación de las intensidades de las fuerzas centrífugas es igual a la razón de los cuadrados de las velocidades. Escribiendo estas relaciones en lenguaje matemático y en función de los radios: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{v_1^2}{v_2^2}$, o bien $F \propto v^2$ (cf. Huygens, 1673, p. 159-160, adaptación desde el latín propia: H.M.). Combinando (II) y (III) obtenemos: $F \propto \frac{v^2}{r}$ que es la expresión a la que arriba Newton.

la intensidad de la Fuerza gravitatoria con el cuadrado inverso de la distancia ($F \propto \frac{1}{r^2}$).

La clave para arribar a la dependencia de la gravedad con el cuadrado inverso de la distancia está en relacionar la expresión que vimos ($F \propto \frac{v^2}{r}$) con la tercera ley de Kepler como veremos.

§. *Perfeccionamiento de la metáfora de la honda por parte de Hooke*

Según Boido (1998), en su metáfora de la honda Huygens sigue atado a Descartes, a los vórtices (cf. *supra*: *Metáfora de los torbellinos de Descartes* en Anexo 1) y a su concepción “centrífuga” y no “centrípeta” del problema (cf. p. 340). Hooke dio un paso fundamental al pasar de una concepción “centrífuga” a una “centrípeta” del problema.

Hooke advirtió que había un error conceptual inducido por una ingenua interpretación de la metáfora de la honda o boleadora: la fuerza que mantenía a los planetas como “atados” al Sol se pensaba como opuesta a una fuerza “centrífuga” con la que los planetas tiraban hacia afuera como queriéndose alejar radialmente del Sol, así como una piedra que gira en una honda o boleadora tira de la mano de quien la bolea como queriendo alejarse radialmente... Antes de la publicación de *Principia*, Newton estaba errado como Huygens:

el propio Newton, Huygens y todos los demás seguían hablando de “una tendencia a alejarse del centro” y Newton había llegado al extremo de aceptar vórtices cartesianos¹⁷ como responsables

17. Como adelantamos (cf. *supra*: *Metáforas interpretativas del movimiento* en Anexo 1), la teoría medieval de Buridan de *ímpetus*, hablaba —en el caso de los movimientos circulares— de un *ímpetus circular* o fuerza impresa que dotaba a los objetos de un movimiento circular. Este *ímpetus circular* estaba promovido por la influencia de la teoría vorticial de Descartes sobre los movimientos pla-

de empujar a los objetos para que volvieran a situarse en sus órbitas, a pesar de su tendencia a desplazarse hacia el exterior (Moledo, 2013, p. 249)

En realidad la piedra de la boleadora no tiende a alejarse radialmente —como pensaba Newton— sino que tiende a seguir una trayectoria rectilínea tangencial a la trayectoria circular, cómo advirtió Hooke. Por lo tanto, no hay dos fuerzas interviniendo sino que hay sólo una fuerza actuante que es la centrípeta siendo la “centrífuga” una fuerza ficticia¹⁸:

En 1674 Hooke ya había dado con el núcleo del problema del movimiento orbital. En un tratado que se publicó aquel mismo año, descartó la idea de un equilibrio entre las fuerzas que empujaban hacia dentro y las que empujaban hacia afuera para mantener a un objeto como la Luna en su órbita. Constató que el movimiento orbital resultaba de sumar, por una parte, la tendencia de la Luna a moverse en línea recta y, por otra, una fuerza “única” que la atraía hacia la Tierra [...] Es decir, Hooke había llegado a la conclusión de que había una sola fuerza, que tiraba hacia el centro y apartaba permanentemente al planeta de su trayectoria rectilínea y uniforme. (Moledo, 2013, p. 249)

netarios inspirada en los vórtices producidos en el agua. Estas teorías tenían mucho peso e influenciaban la forma de teorizar sobre las causas de los movimientos. En el contexto de un *ímpetus circular* o “inercia circular” se entiende que puedan haberse considerado hasta tres fuerzas actuando sobre el móvil: la fuerza centrífuga, la fuerza correspondiente al *ímpetus circular* y la fuerza centrípeta. Para observar cómo estas concepciones medievales siguen afectando la interpretación del movimiento en una especie de “física intuitiva” ver Covián Regales & Celemín Matachana (2008) (nota propia: H.M.).

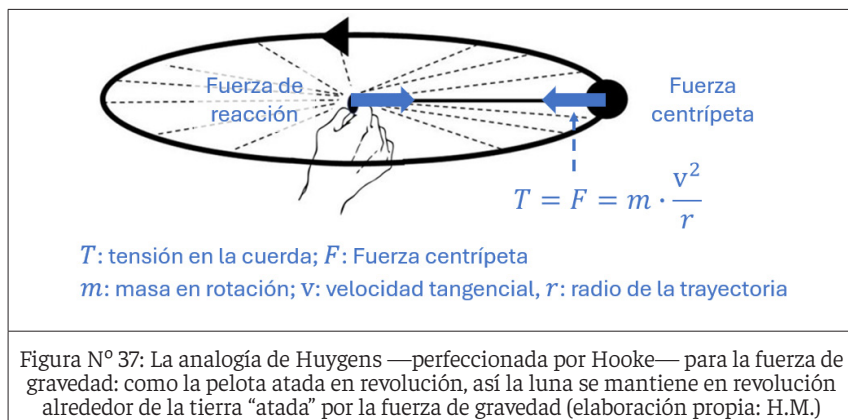
18. Hooke advirtió inteligentemente que la “centrífuga” era una fuerza ficticia, que dependía del sistema de coordenadas y que sólo expresaba la tendencia del cuerpo a seguir moviéndose en una trayectoria rectilínea, como lo preveía el principio de inercia.

En el mismo sentido, Eloy Rada coincide en que en una carta enviada por Hooke a Newton, Hooke da en la clave del problema al que todavía Newton no había arribado confundido por el tema de la fuerza centrífuga. Hooke pregunta a Newton qué es lo que piensa respecto a la hipótesis (del propio Hooke) “según la cual los movimientos celestes de los planetas se compondrían del movimiento rectilíneo por la tangente [la fuerza de inercia] y del movimiento de atracción hacia un cuerpo central [la fuerza centrípeta]” (Rada en Newton, 2011, p. 15, aclaración entre corchetes propia: H.M.). Newton le responde inmediatamente (el 28 de noviembre de 1679), diciéndole “yo no he oído hablar (en lo que recuerdo) sobre vuestra hipótesis de la composición de los movimientos celestes de los planetas y sobre el movimiento rectilíneo tangencial a la curva” (p. 15). Es decir, Hooke en 1679 estaba más adelantado que Newton sobre las fuerzas involucradas en el movimiento en la boleadora de Huygens.

Es notable cómo la historia de la ciencia pone en evidencia las situaciones complejas que, en su momento, estuvieron en el entretejido del conocimiento científico. Esto —normalmente— no se enseña; simplemente se toma el “conocimiento producido”, como siendo algo que surgió sin tropiezos de mentes superiores, como la música salía de la mente de Mozart e iba a parar a la partitura sin ningún tipo de enmienda o corrección.

§. *La metáfora de la honda en Principia*

Como hemos adelantado (en *supra*: *Metáfora de la estructura euclidiana* en Capítulo 4), en el pórtico axiomático de *Principia*, en la Definición V quedó establecida esta idea sobre la fuerza centrípeta, allí concretamente Newton trae el ejemplo metafórico de la honda o de la “boleadora” (“Una piedra que da vueltas en una honda”, cf. Newton, 1982, p. 29):



Boido comenta:

A Newton le interesaba hallar analogías entre el movimiento de una piedra que gira [lo que hemos llamado familiarmente honda o “boleadora”] y el de un planeta que orbita alrededor del Sol, y suponía, motivado por la crítica de Hooke, que de alguna forma el planeta era traccionado hacia el Sol, como lo hace la honda sobre la piedra, impidiendo que saliese disparado por la tangente (Boido, 1998, p. 340) (subrayado y aclaración entre corchetes propios: H.M.)

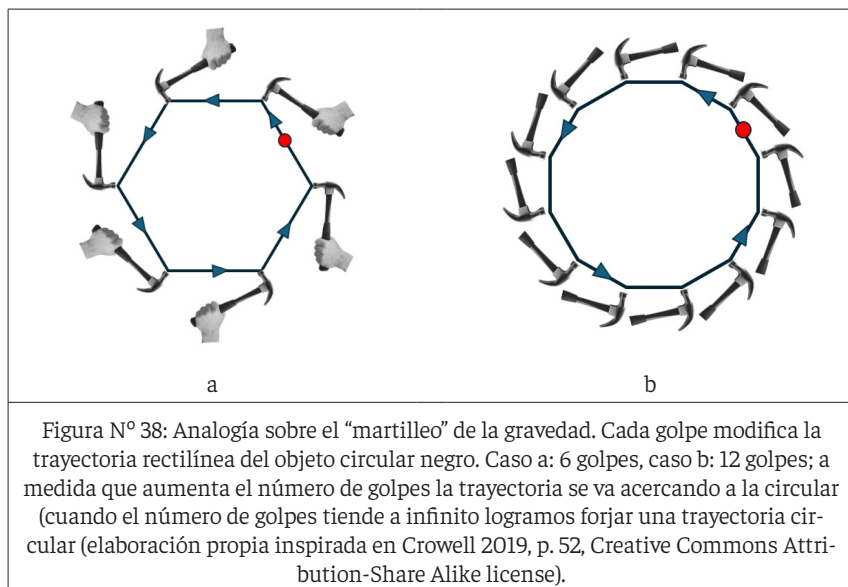
Notamos que de las observaciones no se sigue la teoría, sino que con una teoría se van a buscar los datos, lo único que permanece en todo el proceso es en este caso la metáfora de la honda o boleadora (cf. *supra*: Newton “Lakatoniano” en Capítulo 7).

La metáfora de la honda o boleadora —aplicada al movimiento de la Luna alrededor de la Tierra— le permite a Newton aunar los estudios de Ch. Huygens sobre el movimiento circular (honda o boleadora “perfeccionada” por R. Hooke) y las leyes de Kepler para arribar a su famosa ley de gravitación.

Conforme con Hooke, la única fuerza actuante es la fuerza centrípeta que puede expresarse en función de la masa del móvil y de

su aceleración: el segundo axioma del movimiento de *Principia* relaciona la variación de la “cantidad de movimiento” de un móvil (“ $M \cdot v$ ”, donde “ M ” es la masa del móvil y “ v ” su velocidad) con la fuerza que provoca la mencionada variación (conocida como 2ª Ley de Newton). Newton arriba al 2º axioma analizando la caída o trayectoria de un proyectil en tiro parabólico y llevando el mismo análisis a la “caída de la Luna sobre la Tierra” debida a la fuerza gravitatoria (como vimos en *supra*: *El fracaso de la prueba lunar* en Capítulo 5).

Newton imagina que así como la trayectoria de un proyectil se curva hacia la Tierra, con la Luna sucede lo mismo (cf. Figura N° 18 en Capítulo 5): se curva cayendo hacia la Tierra y esto se debe al “martilleo” constante de impulsos que la fuerza gravitatoria le da al móvil (en nuestro ejemplo la Luna), alejándolo de la trayectoria rectilínea (la que seguiría si no existiese la fuerza que lo mantiene como “atado” a la Tierra) y “forjando” —de este modo— una trayectoria curvilínea. Podemos observar en la siguiente figura la metáfora del martilleo:



Dice Newton:

Que por medio de fuerzas centrípetas los planetas pueden ser retenidos en ciertas órbitas, podemos comprenderlo fácilmente si consideramos los movimientos de los proyectiles (p. 75, 76, 77 [Newton remite aquí al Libro I Definiciones III-VIII]); porque una piedra arrojada es, por la acción de su propio peso, apartada del camino rectilíneo que por el sólo ser arrojada debería haber seguido, para describir una línea curva en el aire; y por ese camino curvilíneo finalmente aterriza en el suelo; y cuanto mayor es la velocidad con que se arroja, más lejos llega antes de caer y tocar la tierra. Por lo tanto, podemos suponer que la velocidad aumenta tanto que describiría un arco de 1, 2, 5, 10, 100, 1000 millas antes de llegar a la tierra, hasta que al final, excediendo los límites de la tierra, debería pasar de largo sin tocarla. (Newton, 1848, p. 512-513) (Aclaración entre corchetes y traducción propia: H.M.)

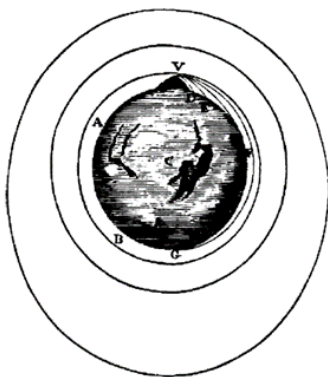


Figura N° 39: Ilustración de las distintas trayectorias de una piedra arrojada desde la cima de una montaña muy elevada que acompaña al texto de Newton recién referido.

Puede observarse que hay una velocidad para la cual la piedra si bien cae no toca nunca tierra (ilustración tomada de Newton, 1848, p. 513) (obra con derechos de autor expirados).

Conforme a la Segunda Regla para Filosofar¹⁹, Newton genialmente atribuye la misma causa al movimiento de la Luna y a la caída de los cuerpos, esto es, la Luna está cayendo (no se precipita sobre la Tierra pues está en órbita según la imagen anterior) igual que un proyectil (cf. imagen anterior).

De acuerdo a las Definiciones III y IV (Newton, 1982, p. 36-37) dos clases de fuerzas van a entrar en consideración en el movimiento de los cuerpos celestes (tener en mente la metáfora de la boleadora): la fuerza “insita” o fuerza de inercia debida al movimiento del cuerpo (la piedra de la boleadora) y la fuerza “impresa” que es la fuerza gravitatoria que a modo de tensión en una cuerda aparta al cuerpo de su trayectoria rectilínea. Recordemos que esta concepción sobre las fuerzas involucradas es lograda gracias a la ayuda de Hooke.

Titán en su análisis geométrico, Newton combina estas dos fuerzas, considerando a la fuerza impresa como fuerza central, es decir actuante desde un punto fijo que en la metáfora de la boleadora sería la mano que sostiene la cuerda. Tomando el esquema geométrico²⁰ que inaugura la sección II del Libro I de *Principia* titulado sugerentemente *Of the Invention of Centripetal Forces* (“De la invención de las fuerzas centrípetas”) (Newton, 1848, p. 103-104), podemos sintetizar el análisis del siguiente modo:

- un móvil de masa “ M ” que en un instante dado se mueve con velocidad “ $\mathbf{v}_1$ ” (que es un vector) tiene una fuerza “impresa” —o cantidad de movimiento—: $M \cdot \mathbf{v}_1$,

19. La Segunda Regla para Filosofar de Newton depende de la Regla Primera que dice: “*No debemos para las cosas naturales admitir más causas que las verdaderas y suficientes para explicar sus fenómenos*” (Newton, 1982, p. 461-463), por tanto la Segunda Regla expresa en sintonía: “*debemos asignar tanto como sea posible a los mismos efectos las mismas causas*” (p. 461).

20. Esquema que Newton utiliza para explicarse en la Proposición I Teorema I (Newton, 1982, p. 104-105) y proposición II Teorema II (p. 105-106) de dicha sección.

- En un instante posterior separado temporalmente del primero por un intervalo de duración “ t ” la cantidad de movimiento se varió a $M \cdot v_2$,
- El agente del cambio (inferencia sobre la fuerza centrípeta) debe haber sido un “impulso” que depende de una fuerza “impresa” F actuante durante el tiempo $t: F \cdot t$.
- Las tres magnitudes anteriores son vectoriales por lo que se combinan mediante la “regla del paralelogramo”²¹ para la adición de vectores.

Sobre tal construcción geométrica mencionada señalaremos a continuación el paralelogramo dinámico recién referido (en trazos gruesos):

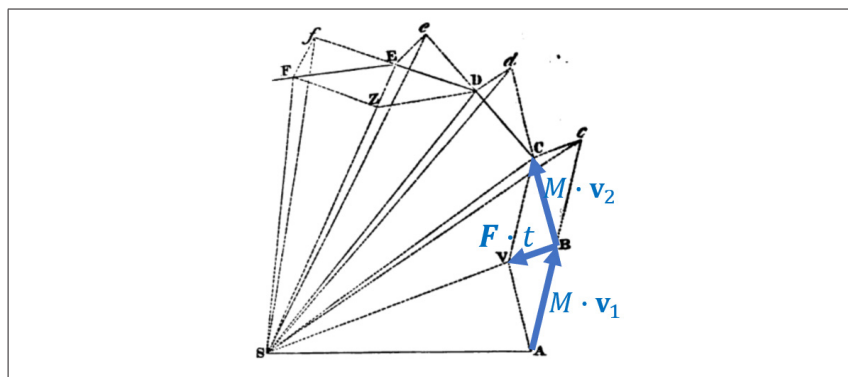


Figura N° 40: Actuación de la fuerza centrípeta sobre un cuerpo en movimiento, adaptación propia (H.M.) sobre la figura tomada de Newton, 1848, p. 104.

21. Para llegar a ese paralelogramo, Newton debió aceptar la inteligencia de R. Hooke (por eso hablamos de la honda o boleadora “perfeccionada” por Hooke) sobre el movimiento circular, si bien parece que el cuerpo en rotación “tira radialmente” de la cuerda como queriéndose alejar en esa dirección (radial), lo cierto es que si la cuerda se corta el móvil no sale despedido radialmente sino tangencialmente, es decir, la fuerza centrípeta lo que hace es desviar al móvil de una trayectoria uniforme y rectilínea (principio de inercia o Primera Ley del movimiento de Newton).

De acuerdo a la regla del paralelogramo o de la adición de vectores:

$$\mathbf{F} \cdot t = M \cdot \mathbf{v}_2 - M \cdot \mathbf{v}_1$$

esta es la “2ª ley de Newton” de *Principia* escrita “en forma de ecuación” (recordemos que en *Principia* no hay ecuaciones), que expresada en la forma en la que nos ha llegado en los libros actuales de física es:

$$\mathbf{F} = M \cdot \frac{\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1}{t} = M \cdot \mathbf{a}$$

definiendo en la última expresión a la aceleración $\mathbf{a}$ como la tasa de variación de la velocidad. La aceleración anterior es una “aceleración centrípeta” proporcional a la fuerza centrípeta que la produce. El análisis matemático fluxional (o de cálculo diferencial) de Newton permite llegar —fácilmente por consideraciones geométricas— a la conocida expresión del módulo de la aceleración centrípeta que encontramos en los libros de física:

$$\mathbf{a} = \omega^2 \cdot r = \frac{v^2}{r}$$

dónde ω es la velocidad angular, esto es, el ángulo barrido en la unidad de tiempo y “ v ” el módulo de la velocidad tangencial (cuya magnitud es el arco recorrido en la unidad de tiempo). Así resulta que la intensidad de la fuerza centrípeta es:

$$\mathbf{F} = M \cdot \mathbf{a} = M \cdot \frac{v^2}{r}$$

El cálculo diferencial y el segundo axioma del movimiento (al que arriba desde un estudio de los choques o fuerzas impulsivas) le permiten a Newton afirmar que la intensidad de la fuerza centrípeta es proporcional al cuadrado de la velocidad lineal e inversamente proporcional al radio (como ya habíamos visto en el punto I.3.1.3c

al referirnos a la historia previa a *Principia* desde la metáfora de Huygens):

$$F \propto \frac{v^2}{r}$$

(recordemos que en *Principia* no hay ecuaciones sino proporciones). Reconoce Newton que Huygens ha llegado a la misma conclusión por vía experimental utilizando cuerpos en rotación (la honda o boleadora, cf. *supra*: *La metáfora de la honda de Huygens*).

La tercera Ley de Kepler combinada con la proporcionalidad recién expresada permite llegar a la famosa relación de la fuerza centrípeta (sistema de la honda o boleadora) o gravitatoria (sistema analogado) con el cuadrado de la inversa de la distancia. Sabemos que:

$$F \propto \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r$$

en el caso de un movimiento circular uniforme,²² la velocidad angular puede expresarse como el ángulo recorrido en una revolución (igual a 360° o 2π radianes), dividido el tiempo que tarda el móvil en dar una vuelta completa (“período”)... Así:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

donde T es el período de rotación, por lo que:

$$F \propto \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r$$

22. Como adelantamos, si bien las trayectorias planetarias son —conforme a Kepler— elipses, la “excentricidad” de las mismas en el caso Tierra-Sol y Tierra-Luna es baja, por lo que son prácticamente circulares, (cf. Serway & Jewett, 2008, p. 368). Ling, Sanny y Moebs establecen que salvo la de Mercurio, las trayectorias de los planetas son prácticamente circulares (Ling *et al.*, 2021, p. 658).

La tercera Ley de Kepler aplicada a un movimiento circular dice que el cuadrado del período de rotación (T) es proporcional al cubo del radio:

$$T^2 \propto r^3$$

reemplazando en la última expresión de la fuerza centrípeta obtenemos:

$$F \propto \frac{(2\pi)^2}{T^2} \cdot r \propto \frac{(2\pi)^2}{r^3} \cdot r = \frac{(2\pi)^2}{r^2}$$

En consecuencia:

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

esto es, la intensidad de la fuerza centrípeta o de gravedad es proporcional a la inversa del cuadrado del radio (o distancia que separa las masas interactuantes). Una reconstrucción similar propone Eloy Rada (cf. Rada en Newton, 2011, p. 22-23).

Todo este tratamiento se realizó suponiendo una trayectoria circular, pero ¿qué pasa con las trayectorias elípticas? Según Eloy Rada, Newton —muy probablemente— había hallado que también en algunos puntos de una elipse se cumplía la ley del inverso:

quizá en aquellos que no necesitan otro tratamiento que el del círculo para obtener ese mismo resultado, por ejemplo, en los extremos del diámetro de un círculo inscrito en la elipse y trazado con radio igual al semieje menor y otros casos parecidos (Rada en Newton, 2011, p. 23)

Entonces, en base a la metáfora o modelo de la honda o boleadora, Newton determina cómo debe ser la fuerza gravitatoria (inver-

samente proporcional al cuadrado de la distancia) y luego va a buscar “datos” verificadorios constituyéndose la famosa “prueba lunar”. Esta “prueba lunar” tuvo un primer intento fallido como ya vimos (debido a imprecisiones en las medidas astronómicas (cf. *supra*: *El fracaso de la prueba lunar* en Capítulo 5) que desconcertó a Newton. Ante el fracaso, Newton mantuvo la hipótesis metafórica de la honda o boleadora y varios años después con nuevas mediciones obtuvo una correspondencia “bastante aproximada” (Newton citado por Weinberg, 2016, p. 218-219) (cf. *supra*: *El poder de la metáfora: un stand by de 13 años* en Capítulo 5).

§. Dependencia de la fuerza centrípeta con la masa del cuerpo rotante

Ya hemos visto que la ley de proporcionalidad directa de la fuerza centrípeta (o gravitatoria) con la masa del cuerpo rotante surge de la aplicación de la regla del paralelogramo a la variación de los vectores de las cantidades de movimiento (cf. *supra*: Figura N° 40)—lo que es origen de la 2° Ley del movimiento de Newton—.

Entonces tenemos que:

$$F = M \cdot \frac{v_2 - v_1}{t} = M \cdot a$$

La aceleración que aparece en la fórmula es una aceleración centrípeta (recordemos que Newton trabaja con fuerzas centrales en base al esquema de la boleadora de Huygens). Toda la teoría del Libro I supone que el módulo de esa aceleración es proporcional a la inversa del cuadrado de la distancia (lo cual convierte las trayectorias en secciones cónicas, las de los planetas en elipses —o circunferencias— y las de los cometas en parábolas e hipérbolas), así resulta:

$$F \propto \frac{M}{r^2}$$

Por vía empírica, aplicando la tercera ley de Kepler a un movimiento circular (cf. *supra*: *La metáfora de la honda de Huygens*), habíamos arribado a:

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

Por vía empírica Newton confirma en el Libro III (no sin grandes dificultades y aproximaciones) que:

$$F \propto \frac{M}{r^2}$$

Donde M es la masa del cuerpo rotante.

Obtención de la expresión matemática de la Ley de gravitación

Cuando un cuerpo rota atado a un punto fijo, la cuerda tira del móvil con una fuerza centrípeta cuya intensidad vamos a simbolizar con F_{1-2} mientras que la cuerda tira del punto fijo con una fuerza centrífuga F_{2-1} . La cuerda “debe ser jalada por ambos extremos con fuerzas iguales y opuestas, ya que es imposible tensionar una cuerda jalándola desde un solo extremo, en cuyo caso sólo sería arrastrada en la dirección de la fuerza” (Karles Gómez, 1988, p. 257). Como vimos en la Figura N° 36 (cf. *supra*: *Tercera ley: metáfora de la honda vs. los vórtices acuáticos* en Anexo 2) resulta tanto para la honda o boleadora, como para la situación análoga de —por ejemplo— la Luna girando alrededor de la Tierra que $F_{1-2} = F_{2-1}$ (la intensidad con que la Tierra atrae a la Luna es igual a la intensidad con que la Luna atrae a la Tierra). Esto Newton lo comenta en el Tercer libro de *Principia* punto 21 (como vimos); allí intenta aplicar la tercera ley o principio de acción y reacción:

Mediante la acción con que el Sol atrae a Júpiter, Júpiter y el Sol pugnan por acercarse (por la tercera Ley del Movimiento), y

mediante la acción con que Júpiter atrae al Sol, Júpiter y el Sol pugnan igualmente por acercarse. Pero el Sol no es atraído hacia Júpiter por una doble acción, ni Júpiter hacia el Sol por una doble acción, sino que existe una sola acción intermedia por la que ambos se acercan [...] En este sentido debemos concebir el ejercicio de una sola acción entre dos planetas, acción debida a la naturaleza combinada de ambos. Y esta acción, al estar en la misma relación a ambos, será proporcional a la cantidad de materia en uno si es proporcional a la cantidad de materia en el otro. (Newton, 1982, p. 841-842) (subrayado nuestro: H.M.)

En *supra* (La versión “empalabrada” de la Ley y El producto de las masas en Capítulo 5) nosotros comentamos que, que la relación matemática de las masas en el numerador de la ley de gravitación universal responda a una multiplicación parece ser deducida de la tercera ley de Newton, pero en *Principia* no está explicitada como multiplicación.

En el caso de la Luna girando alrededor de la Tierra, la Luna desde el ejemplo de la honda o boleadora se siente atraída con una fuerza centrípeta F_{L-T} que depende de su masa M_L y de la distancia entre los centros r :

$$F_{L-T} \propto \frac{M_L}{r^2}$$

pero por el principio de acción y reacción la Tierra se siente atraída por la Luna con una fuerza F_{T-L} exactamente igual en intensidad:

$$F_{T-L} \propto \frac{M_T}{r^2}$$

Donde M_T es la masa de la Tierra. Sabemos que las intensidades $F_{L-T} = F_{T-L}$, y que son proporcionales a las masas respectivas e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que separa los centros de masa.

Pero en base a los considerandos de Newton vistos en *supra* (La versión “empalabrada” de la Ley y El producto de las masas en Capítulo 5), donde el científico apela a la Ley de acción y reacción y procura que no se entienda la fuerza gravitatoria de un “planeta 1” sobre otro “planeta 2” como algo distinto de la acción recíproca del “planeta 2” sobre el “planeta 1”, afirma que la fuerza no sólo es proporcional a la masa del cuerpo rotante —en este caso la Luna— sino también a la masa del cuerpo que atrae —en este caso la Tierra—:

Puesto que la acción de la fuerza centrípeta sobre los cuerpos atraídos es, a igual distancia, proporcional a las cantidades de materia en dichos cuerpos, la razón exige que sea también proporcional a la cantidad de materia en el cuerpo que atrae (Newton, 1982, p. 841)

En consecuencia:

$$F \propto \frac{M_L \cdot M_T}{r^2}$$

Donde F es la fuerza de atracción entre la Tierra y la Luna y M_T es la masa del cuerpo que atrae. Esta es la Ley de Gravitación Universal escrita en forma de proporción para el caso del sistema Tierra-Luna que es el revestimiento matemático prometido de las metáforas de base.

ANEXO 4: LEIBNIZ, BOŠKOVIĆ Y FARADAY: EL PASO DE LAS PARTÍCULAS FÍSICO-MATERIALES NEWTONIANAS A LOS PUNTOS METAFÍSICOS INMATERIALES

La teoría atómica de la materia es una de las cosas mejor rebatidas que existen, y quizá no existe en Europa un solo sabio que sea tan ignorante como para conferirle cierta importancia [...] En primer lugar hemos de agradecerse al dálmata Bošković.

Para él el átomo es un centro de fuerza que explica todas las propiedades de la materia. Y es que Bošković ha sido con el polaco Copérnico, el más grande y vigoroso adversario de la apariencia.

Friedrich Nietzsche, “Más allá del bien y del mal”

Te quiero comunicar que he pasado del todo superfísico a la nada metafísica.

Federico M. Peralta Ramos

Observando la metáfora del *Árbol de la Ciencia* de Descartes (cf. *supra*: *El límite entre la física y la metafísica* en el Capítulo 7), colegimos que la Metafísica es más profunda que la Física en tanto la sostiene como fundamento. D’Alembert lo había expresado de este modo: cuanto más profunda Metafísica (siguiendo la metáfora: raíces) mejor Física (tronco). En el mundo humano suele haber un fundamento espiritual, o religioso, o de sabiduría profunda que entiende que lo físico y lo material (palpables) deben ser guiados o fundados o sopesados en base a lo espiritual (impalpable). De allí la frase que encabeza el Anexo del artista argentino F. M. Peralta Ramos en tanto pasa como artista de lo palpable superfísico a lo impalpable o nada metafísica (este artista se tomó a sí mismo como obra artística).

Veremos muy resumidamente algunas filosofías de la materia no newtonianas muy importantes en los orígenes de la ciencia moderna. Ellas eliminan las partículas materiales en la entraña de la materia sintonizando con las posturas no newtonianas del *Tímeo* platónico y de Heisenberg. Ellas son las de Leibniz, Bošković y Faraday.

§. *Concepción clásica newtoniana*

La concepción metafísica de Timeo respecto de la materia es olvidada frente a los éxitos de la mecánica newtoniana. Pero esta mecánica tiene su metafísica (cf. *supra*: *La metáfora del Árbol de la Ciencia* en el Capítulo 7) que se desprende de *Principia*, y es la que los seguidores de Newton le adjudicaban a principios del SXIX:

el mundo está constituido por “corpúsculos” sólidos, extensos [es decir, ocupan un espacio], y por espacio vacío [más] una tercera entidad, la fuerza. Cada corpúsculo posee la propiedad de “actuar a distancia” y ejercer fuerzas directa e instantáneamente sobre otros cuerpos del universo. Newton no presentó en sus escritos una teoría completamente acabada y exenta de ambigüedades (Berkson, 1981, p. 39)

§. *Concepciones no newtonianas*

R. Descartes no admite el vacío (recordar su “teoría de los torbellinos” que llenan todo) y define la materia simplemente como lo que ocupa espacio, como pura extensión: “El concepto de materia no tiene sentido sin el de extensión,²³ y por lo tanto materia y extensión son una misma cosa” (Berkson, 1981, p. 44). Gottfried W. Leibniz²⁴ critica esta concepción de Descartes, pues la materia

23. Descartes observa que las variaciones de color, forma, olor, rugosidad, etc. de lo material no alteran su ser materia “excepto cuando varía su extensión o cualidad de ocupar espacio” (Berkson, 1981, p. 44)

24. Filósofo, matemático, lógico, teólogo alemán, considerado uno de los últimos *polímatas* que trataron e integraron varios ámbitos del saber antes de darse la posterior atomización en “especialidades”. Desarrolló en matemática el cálculo infinitesimal —independientemente del desarrollado por I. Newton— tan fundamental para la ciencia contemporánea. En física moderna criticó —en correspondencia con el mismo Newton— la idea de “acción a distancia” (cf. *supra* nota al pie en *Metáfora de los torbellinos de Descartes* en Anexo 1).

está caracterizada no sólo por ocupar un espacio, sino también por la propiedad de ser impenetrable,²⁵ por lo que es necesario “considerar junto con la extensión, la fuerza como otra propiedad esencial de la materia. La fuerza debería ser repulsiva para resistir la penetración” (Berkson, 1981, p. 45). Ya hemos referido (cf. *supra*: *Una nueva metáfora desde el racionalismo de Leibniz* en Capítulo 6) que Leibniz considera metafísicamente que todo lo que hay, lo “complejo” está compuesto por entidades simples. En su *Monadología*²⁶ Leibniz considera que estas entidades simples que integran la realidad²⁷ no son materiales sino inmateriales, y —para entendernos inicialmente— digamos que son “puntos matemáticos” que no son meramente geométricos y a los que denominó mónadas.²⁸ Estos puntos contienen una *virtualidad*

25. Por ejemplo, dos cuerpos que chocan no se atraviesan mutuamente y no pueden ocupar el mismo espacio.

26. De Mónada: “Etimológicamente proviene del término griego *μονάς* [*monás*] que significa unidad [...] La fuente más inmediata para Leibniz es G. Bruno, quien define a Dios como *monas monadum* [mónada de las mónadas]. Bruno y Leibniz toman esta palabra de la tradición Hermética y Cabalística. (Leibniz, 1981, p. 73, aclaración entre corchetes propia: H.M.). La *Monadología* de Leibniz “Constituye, junto con los *Príncipes de la nature et de la grâce fondas en raison*, su testamento filosófico, escrito dos años antes de su muerte, al cabo de toda una vida dedicada a la investigación en los más diversos campos del saber, y por lo que respecta a la filosofía, después de haber estudiado las doctrinas de los clásicos [...] y haber polemizado con los modernos (Locke, Newton, Malebranche, Bayle, etc.) (Leibniz, 1981, p. 65).

27. Para Leibniz no hay “vacío” como en la metafísica newtoniana: “La tesis de que se da el *plenum* y no puede darse el vacío la prueba Leibniz a partir de las perfecciones de Dios y del principio de Razón Suficiente” (Leibniz, 1981, p. 77).

28. “(1) La Mónada, de la que vamos a hablar aquí, no es sino una sustancia simple que entra en los compuestos; simple quiere decir sin partes [...] (3) Ahora bien, allí donde no hay partes, tampoco hay extensión, ni figura, ni divisibilidad posible. Y estas Mónadas son los verdaderos Átomos de la Naturaleza y, en una palabra, los Elementos de las cosas [...] (8) Es preciso, sin embargo, que las Mónadas tengan algunas cualidades; en otro caso no serían ni siquiera Seres” (Leibniz, 1981, p. 73, aclaración entre corchetes propia: H.M.).

interna que comprende la “fuerza” como la que comentamos antes en su crítica a Descartes (cf. Leibniz, 1981, p. 81). Entonces ya tenemos varios ingredientes para explicar lo que pudiera ser en esencia la materia, o sus principios o sus fundamentos:

- *Partículas extensas*, que actúan mediante *fuerzas a distancia* en el vacío: postura de Newton;
- *Matemática*: en la forma de *geometría* en Timeo de Platón (triángulos inmateriales cuyos fundamentos son los *números* “sólo conocidos por Dios” y los pitagóricos) y en la forma de álgebra matricial en Heisenberg.
- *Puntos matemáticos* que poseen *virtualidades internas*, como *fuerzas* repulsivas (para salvar la impenetrabilidad) y atractivas o de cohesión (para mantener a los cuerpos siendo lo que son): postura de Leibniz

El revolucionario átomo de Bošković

Dicho lo anterior, podemos comprender la postura de Ruggero Boscovich²⁹ que combinó la metafísica de Newton —de partículas extensas, de vacío y fuerzas actuando a distancia— con la de Leibniz de las mónadas inextensas o matemáticamente puntuales (tomemos esta caracterización como una descripción burda para entendernos y poder continuar, ya que como dijimos este

29. Fue un físico, matemático y sacerdote jesuita nacido en 1711 en Ragusa (actual Croacia). El dado es el nombre italiano, muy difundido (murió en Milán en 1787). En croata es Ruđer Bošković. “La fecha y los títulos de algunos de sus trabajos nos hablan de su interés sostenido por el problema de la estructura de la materia: *De viribus vivis* (1745), *De materiae divisibilitate et de principiis corporum* (1748) o *De lege viriunz in natura existentium* (1755). Su obra fundamental en este campo fue el libro *Philosophiae naturalis theoria redacta and unicam legen virium in natura existentium*, publicado en 1858 en Viena, obra donde Bošković elabora un intento de síntesis del conocimiento físico de su tiempo mediante un principio unificador inspirado en las fuerzas newtonianas de acción a distancia.” (Casado Vázquez, 2000, p. 555).

“punto” no es meramente “matemático”, es una mónada que posee un *principio interno* que le permite cambiar, cf. Leibniz, 1981, p. 81). Dice Bošković:

1. La siguiente teoría de las fuerzas mutuas, que descubrí ya en el año 1745, mientras estudiaba varias proposiciones que surgen de otros principios muy conocidos, y de la que he derivado la constitución misma de los elementos simples de la materia, presenta un sistema que está a medio camino entre el de Leibniz y el de Newton; tiene mucho en común con ambos y difiere mucho de ambos; y, como es inmensamente más simple que cualquiera de los dos, es indudablemente adecuado en grado maravilloso para derivar todas las propiedades generales de los cuerpos, y también algunas de las propiedades especiales, mediante las demostraciones más rigurosas.

2. De hecho, se atiene a aquellos elementos primarios simples y perfectamente no extensos sobre los que se fundamenta la teoría de Leibniz; y también a las fuerzas mutuas, que varían a medida que varían las distancias de los puntos entre sí, característica de la teoría de Newton, además, se ocupa no sólo del tipo de fuerzas empleadas por Newton, que obligan a los puntos a acercarse unos a otros, y comúnmente se les llama atracciones; sino que también considera fuerzas del tipo que engendran recesión y se llaman repulsiones. Además, la idea se introduce de tal manera que, donde termina la atracción, allí, con un cambio de distancia, comienza la repulsión; De hecho, esta idea fue sugerida por Newton en la última de sus “Questions on Optics” [...] (Bošković, 1922, p. 35) (traducción propia: H.M.)

Boscovich, en vez de ver la fuerza como una interacción *entre partículas extensas* (como considera Newton) sin las cuales no habría fuerza (sin partículas masivas no hay fuerzas), anuló las partículas materiales y se quedó sólo con puntos inextensos (en

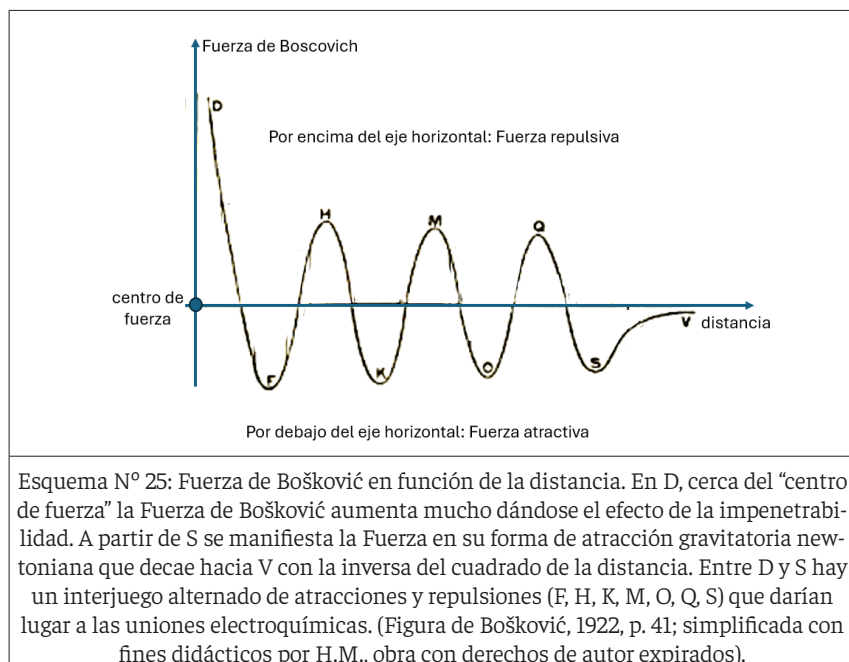
semejanza con las monadas de Leibniz con las salvedades hechas para que nos entendamos) y fuerzas actuantes *entre* los puntos que dependen de la distancia entre los puntos. Así, el átomo de Boscovich no tiene partes materiales,³⁰ porque por lógica la *materia* no puede estar integrada por corpúsculos *materiales*, por lo que es ideado como un único centro puntual de fuerza con “cáscaras” de fuerzas atractivas y repulsivas alternadas.

Cerca del punto de fuerza, —muy cerca— esta fuerza crece tanto que produce la contextura de impenetrabilidad,³¹ —no tan cerca del centro de fuerza— da la posibilidad de las uniones químicas y lejos del punto de fuerza se transforma en la fuerza cuya ley es la de la gravitación newtoniana.

Lo genial, además de la configuración descripta, es la idea de unificación de todas las fuerzas de la naturaleza, pues las fuerzas recién descriptas son la misma *fuerza de Bošković* con distintas intensidades y sentidos según la distancia al centro de fuerza... como observamos la fuerza eléctrica y la gravitatoria tendrían la misma naturaleza.

30. Faraday comenta que este modelo atómico representa para él un gran avance sobre la concepción tradicional, cf. Faraday, 1844, p. 289-290.

31. Este átomo da solución al problema del choque de dos partículas materiales inelásticas, que daría lugar a fuerzas infinitas como notaron Kant y Leibniz, cf. su estudio en Cassirer, 1993b, p. 461-463 y en Casado Vázquez, 2000, p. 558-559.



Faraday: la única sustancia física son las fuerzas

La concepción boscovichiana del átomo fue fundamental en los trabajos de Faraday, ya que sintonizaba con sus líneas de fuerza (cf. Faraday, 1844, p. 289-290) y le permitía abonar su intuición de que todas las fuerzas de la naturaleza podían reducirse a una sola fuerza. Este átomo permitió a Faraday y Maxwell conceptualizar los campos de fuerzas eléctricos y magnéticos. “Faraday [...] transformó la teoría de Bošković introduciendo la hipótesis de que las fuerzas constituyen la única sustancia física” (Berkson, 1981, p. 74).

Esto nos conduce nuevamente a la consideración de que no hay “datos puros” sino interpretaciones desde esquemas teóricos que provienen inmediatamente de traslados metafóricos y más remotamente de metafísicas o reflexiones filosóficas.

ANEXO 5: REVESTIMIENTO MATEMÁTICO DE LA METÁFORA HÍDRICA POR PARTE DE MAXWELL

Salvo diferencias de notación,³² y de signos, veremos como Maxwell obtiene desde un traslado metafórico a partir de consideraciones hidráulicas:

- la ley del potencial eléctrico (V) a una distancia (r) de una carga (q) que ha llegado a nosotros como:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \cdot \frac{q}{r}$$

- la correspondiente ley del potencial (V) producido por varias cargas q_i (con $i = 1, 2, \dots, n$) en un punto cuya distancia a las cargas respectivas es r_i (con $i = 1, 2, \dots, n$) (principio de superposición):

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i}$$

- la dependencia de la fuerza eléctrica (F) y de la intensidad del campo eléctrico E (fuerza por unidad de carga) con la inversa del cuadrado de la distancia:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \cdot \frac{q}{r^2}$$

32. Porque Maxwell no utiliza la notación vectorial —hecha clásica posteriormente por O. Heaviside—.

- la vinculación de las componentes del vector campo eléctrico ($E_x; E_y; E_z$) con la derivada parcial correspondiente del potencial eléctrico:

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}; E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}; E_z = -\frac{\partial V}{\partial z} \Rightarrow \mathbf{E} = -\text{grad}V = -\nabla \cdot V$$

§. Las consideraciones hidráulicas

Como dijimos, Maxwell se propone usar analogías con el fin de revestir matemáticamente las geniales ideas de Faraday sobre las líneas de fuerza. Como ejemplo concreto del revestimiento matemático del dominio meta desde el dominio fuente trataremos ahora el estudio de Maxwell sobre *el movimiento uniforme de un fluido incompresible e imponderable a través de un medio con rozamiento* (cf. Maxwell, 1890a, p. 163-168), estudio que pertenece a *On Faraday's lines of force*. Maxwell desarrolla aquí una teoría a partir de unos postulados iniciales básicos. Este fluido imaginario es homogéneo (mismas propiedades en todo punto) no tiene inercia (es decir, no es masivo³³) y su movimiento es resistido por una fuerza proporcional a la velocidad (clásica formulación de la ley del rozamiento que se opone al movimiento a través de fluidos):

(10) El fluido es supuesto sin inercia, y su movimiento es resistido por la acción de una fuerza a la que podemos concebir como la resistencia del medio a través del cual el fluido se mueve. Esta resistencia depende de la naturaleza del medio, y en general depende también de la dirección en la cual el líquido se mueve, así como también de su velocidad [dicha fuerza se opone al vector velocidad, que como vector tiene dirección y sentido]. Por el momento nos podemos restringir al caso de un medio

33. Lo cual le permitirá considerar que no es necesaria una fuerza neta para acelerar un pequeño volumen del mismo.

uniforme, que es aquel cuya resistencia es la misma en todas las direcciones. (Maxwell, 1890a, p. 163-164, numeración entre paréntesis en el original) (traducción y aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

¿Cuál es la suposición de Maxwell en torno a la dependencia de la fuerza resistiva con la velocidad? “La ley que asumimos es la siguiente: *Cualquier porción de fluido es solicitada por una fuerza resistente que se opone al movimiento a través del medio resistente y es directamente proporcional a su velocidad.* (Maxwell, 1890a, p.164, cursivas en el original) (traducción propia: H.M.). Lo conocido por hidráulica, lleva a Maxwell a aclarar que si a pesar de la resistencia del medio, el líquido se mueve, esto es debido a una presión “por detrás” de cada partícula de fluido (imaginada con forma cúbica) que es mayor que la presión que la partícula encuentra “por adelante” y que debe compensar a la resistencia mencionada (recordar que el líquido no tiene masa y no es necesaria una fuerza neta distinta de cero):

Si la velocidad es representada por v , entonces la resistencia será una fuerza igual a kv actuando sobre la unidad de volumen del fluido en un sentido contrario al de su movimiento. En orden, por consiguiente, a que la velocidad pueda ser mantenida, debe haber una mayor presión detrás de cualquier porción del fluido que la que hay en frente de ella, de tal modo que pueda neutralizar el efecto de la resistencia. Conciba una unidad con forma de cubo de fluido (que nosotros podemos hacer tan pequeña como queramos) que se mueva en una dirección perpendicular a dos de sus caras. Entonces la resistencia [fuerza de rozamiento que se opone a su movimiento] será kv , y por consiguiente la diferencia de presiones [o gradiente] entre la primera y segunda caras [suponiendo una longitud unitaria del cubo] será a fin de que la presión disminuya

con dirección y sentido del movimiento a razón de kv para cada unidad de longitud medida a lo largo de las líneas de movimiento; si medimos una longitud igual a h unidades [a lo largo de la línea], la diferencia de presión entre sus extremidades será kvh (Maxwell, 1890a, p. 164) (traducción y aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

Maxwell supone que en este fluido la presión varía en forma continua por lo que es posible imaginar superficies isobáricas o de igual presión:

(11) La presión se supone que varía continuamente en el fluido, por lo que [matemática y geoméricamente] todos los puntos en los cuales la presión es constante forman una superficie que podemos llamar superficie (p) de igual presión [isóbara]. Si una serie de estas superficies se construyen en el fluido correspondiente a las presiones 2, 3, etc., entonces el número de la superficie indicará la presión perteneciente a ella, y la superficie puede ser llamada superficie 0, 1, 2 o 3. La unidad de presión es aquella que es producida por la unidad de fuerza actuando sobre la unidad de superficie. Así, al ser la presión proporcional al módulo de la fuerza, disminuirá aquella en la misma proporción que esta. (Maxwell, 1890a, p. 164, numeración entre paréntesis en el original) (traducción y aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

Maxwell introduce ahora algo que será clásico de los campos eléctricos: las superficies equipotenciales —isobáricas o de igual presión en la analogía— serán perpendiculares a la dirección del vector intensidad de campo eléctrico —analogable a la velocidad del fluido en la metaforización—. Como hemos adelantado, Maxwell concibe en su análisis “micro”, que dichas líneas son más bien “tubos de fuerza” o pequeñas cañerías:

(12) Es fácil de ver que estas superficies de igual presión deben ser perpendiculares a las líneas de movimiento; pues si el fluido se moviera en alguna otra dirección, habría una resistencia para su moción que no se balanceó por una diferencia de presiones (debemos recordar que el fluido aquí es considerado sin inercia o masa, a fin de que las resistencias y las presiones sean las únicas cosas a ser consideradas). Hay por consiguiente dos juegos de superficies que se intersecan perpendicularmente: el sistema de superficies que forman los tubos unitarios [cada línea de flujo es entendida por Maxwell como una “delgada cañería”, las paredes de estas cañerías forman uno de los sistemas de superficies mencionados], y el sistema de superficies de igual presión [es el otro sistema de superficies que considera en su modelo]. Sea h la distancia entre dos superficies consecutivas de igual presión, medida a lo largo de una línea de moción, entonces la diferencia de presión [entre ellas es] $= 1$, y su expresión: $kvh = 1$ (Maxwell, 1890a, p. 164-165, numeración entre paréntesis en el original) (traducción y aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

§. *La ley de la inversa del cuadrado para la velocidad*

Con esta base y geometría planteada, Maxwell concibe imaginativamente el caso de una fuente puntual de caudal en el seno de un cuerpo fluido infinito. De este modo arriba a una variación de la velocidad del fluido con la inversa del cuadrado de la distancia a la fuente. Observamos que sigue funcionando aquí la idea kepleriana de la dilución del sonido o de la luz con la distancia a su fuente (cf. *supra* capítulos 4 y 6) que se corresponde metafóricamente con la variación de la fuerza entre cargas eléctricas. Así, quedan vinculados analógicamente los dos dominios:

(18) Consideremos determinar la presión en cualquier punto de un cuerpo infinito de fluido en el centro del cual es colocada una fuente unidad [su caudal es la unidad de volumen en la unidad de tiempo], la presión a una distancia infinita de la fuente es cero. El fluido manará simétricamente desde el centro, por lo que la unidad de volumen de fluido por unidad de tiempo fluye atravesando cada superficie esférica que rodea al punto, así la velocidad del fluido a una distancia r de la fuente será: $v = \frac{1}{4\pi r^2}$. La tasa de disminución de presión [es el gradiente de presión $\frac{dp}{dr}$] es por consiguiente kv o $\frac{k}{4\pi r^2}$ y como la presión = 0 cuando r es infinito, la presión real en cualquier punto será [integrando] $p = \frac{k}{4\pi r}$. La presión es por consiguiente inversamente proporcional a la distancia de la fuente. Es evidente que la presión debido a un sumidero de la unidad [de caudal] será negativa e igual a $-\frac{k}{4\pi r}$. Si tenemos una fuente formada por la coalición de S fuentes unitarias, entonces la presión resultante será $p = \frac{kS}{4\pi r}$ a fin de que la presión a una distancia dada varíe como la resistencia $[k]$ y el número de fuentes conjuntamente. (Maxwell, 1890a, p.167, numeración entre paréntesis en el original) (traducción y aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

§. Mapeado hidráulica-electricidad

Maxwell se propone ahora aplicar la idea de líneas de fuerza abarcando tanto el estudio de las líneas de fuerza eléctricas como magnéticas, reservando a un estudio posterior su aplicación al electromagnetismo:

La aplicación de la Idea de Líneas de Fuerza [título]. Tengo ahora que mostrar cómo la idea de líneas de moción anteriormente descritas puede ser modificada a fin de ser aplicable para las ciencias de electricidad estática, magnetismo permanente, magnetismo de inducción, y a las corrientes galvánicas uniformes, reservando

las leyes de electro-magnetismo para una consideración especial. (Maxwell, 1890a, p. 175, cursivas en el original) (traducción, subrayado y aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

Maxwell asume desde su modelo analógico hídrico recién estudiado, que dos cargas de distinto signo se atraen con una fuerza directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa (en una total analogía con la ley de gravitación universal); mientras que dos cargas de igual signo se repelerán manteniendo la misma ley para la fuerza (del producto de las masas y de la inversa del cuadrado de la distancia):

Asumiré que los fenómenos de electricidad estática han sido ya explicados por la mutua acción de dos opuestas clases de materia [se refiere a las masas eléctricas o cargas eléctricas]. Si consideramos una de estas como electricidad positiva y la otra como negativa, entonces cualquiera de las dos partículas eléctricas atrae³⁴ a la otra con una fuerza que está dada por el producto de las masas [eléctricas] de las partículas dividido por el cuadrado de su distancia. (Maxwell, 1890a, p. 175) (traducción, nota al pie y aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

Finalmente, Maxwell establece el traslado metafórico, cerrando la analogía desde la coincidencia matemática. Primeramente asocia metafóricamente la fuente de líquido (S) —que genera las líneas de corriente líquida—, con la carga eléctrica positiva (fuente del campo eléctrico, a la que Maxwell simboliza matemáticamente como dm), y la velocidad del fluido con la intensidad del campo

34. El texto en inglés dice “repel”, consideramos que la fuerza es de atracción, al ser las cargas consideradas de distinto signo, la fuerza es atractiva.

eléctrico, estableciendo la dependencia de este último con la inversa del cuadrado de la distancia:

Ahora, nosotros hemos encontrado (18) que la velocidad de nuestro fluido imaginario debido a una fuente S a una distancia r de la misma varía inversamente como r^2 . Veamos cuál será el efecto de substituir dicha fuente por una partícula de electricidad positiva. La velocidad debido a cada fuente sería proporcional a la atracción debido a la partícula correspondiente, y la velocidad resultante debido a todas las fuentes sería proporcional a la fuerza resultante de las atracciones de las partículas. (Maxwell, 1890a, p. 175-176) (traducción, subrayado y aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

Luego, Maxwell asocia metafóricamente la presión del fluido (p) con el potencial eléctrico (V) y colige que dicha presión (como el potencial) depende de la acción de las distintas fuentes en el problema hidráulico y de las distintas cargas en el problema eléctrico. A la vez, siguiendo la analogía producida por el traslado metafórico, vincula el gradiente³⁵ de presión con el gradiente de potencial eléctrico y establece que la tasa de disminución de la presión tiene que ver con la velocidad del fluido en el problema hidráulico y con la fuerza de atracción (o con la intensidad del campo —fuerza por unidad de carga—) en el problema eléctrico:

Ahora, nosotros hemos encontrado que la presión resultante en cualquier punto se deduce añadiendo las presiones debido a las fuentes dadas, y por eso podemos encontrar la velocidad resultante en una dirección determinada de la tasa de disminución de presión en esa dirección [matemáticamente es una derivada

35. "Gradiente. (De *grado*). m. Razón entre la variación del valor de una magnitud en dos puntos próximos y la distancia que los separa. *Gradiente de temperatura, de presión*." (DRAE).

direccional], y esto será proporcional a la atracción resultante de las partículas en esa dirección. (Maxwell, 1890a, p. 176) (traducción y aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

Ahora, Maxwell reviste de matemática lo que ha anunciado en palabras. Tengamos presente que según lo estudiado por Maxwell en el problema hidráulico, la presión p a una distancia r de la fuente S que la produce, suponiendo un medio uniforme en el que la resistencia al movimiento de fluido es medida por k , resulta dada por la

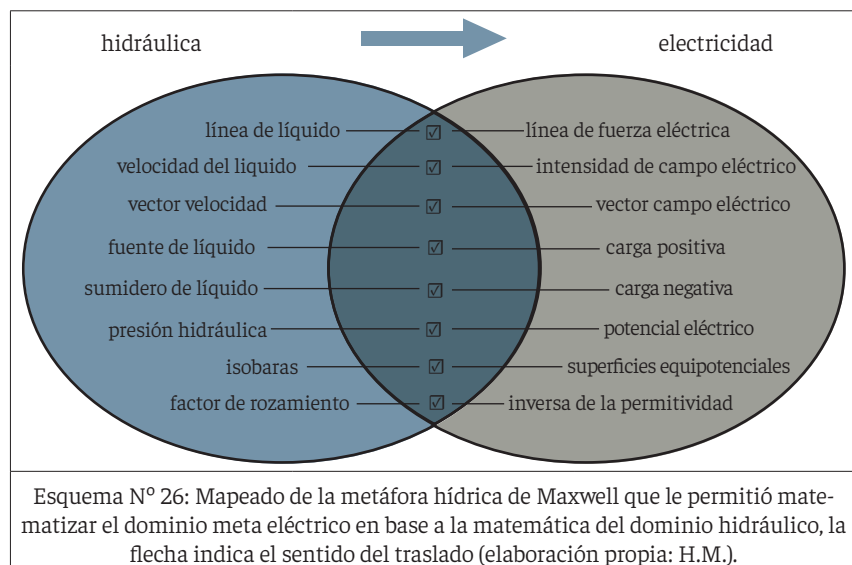
expresión: $p = \frac{k}{4\pi} \frac{S}{r}$ (cf. Maxwell, 1890a, p. 174). Además, Maxwell simboliza cada partícula eléctrica con dm ("masa" eléctrica) y a un sistema de partículas eléctricas con Σdm (cf. Maxwell, 1890a, p. 176). Dicho esto Maxwell afirma:

Desde que la atracción resultante en el problema eléctrico es proporcional a la disminución de presión en el problema imaginario, y desde que podemos seleccionar algunos valores para las constantes en el problema imaginario, podemos asumir que la atracción resultante en cualquier dirección es numéricamente igual que la disminución de presión en esa dirección, o $X = -\frac{dp}{dx}$. Por esta suposición encontramos que si V es el potencial [y depende de las tres variables o coordenadas cartesianas espaciales: x, y, z], $dV = Xdx + Ydy + Zdz = -dp$ [diferencial total], siendo en una distancia infinita $V = 0$ y $p = 0$, $V = -p$. En el problema eléctrico tenemos: $V = -\sum\left(\frac{dm}{r}\right)$ y en el fluido $p = \sum\left(\frac{kS}{4\pi r}\right)$. Por lo tanto [la equivalencia entre y resulta]: $S\frac{4\pi}{k} dm$ [...] Así es que: $V = -p$, $X = -\frac{dp}{dx}$, $dm = \frac{k}{4\pi} S$. (Maxwell, 1890a, p. 176-177) (traducción, subrayado y aclaraciones entre corchetes propias: H.M.)

Maxwell asocia las líneas de fuerza de Faraday, con las líneas que siguen las partículas de líquido imaginario y según su modelado de tales líneas, las considera como pequeños tubos de sección variable

para que la velocidad en cada sección del mismo sea asociable a la intensidad del campo eléctrico. En correspondencia con este modelo geométrico, la densidad de líneas se relaciona con la intensidad del campo en la zona considerada: “Las líneas de fuerzas son los tubos unitarios del movimiento de un fluido y pueden estimarse numéricamente mediante esos tubos” (Maxwell, 1890a, p. 177, traducción propia: H.M.).

Podemos observar el mapeado que resulta de la analogía en el siguiente esquema:



Más allá de la “complicación matemática” que para un lector u otro puede representar el tratamiento precedente, lo interesante es que la imaginación metafórica que vio las líneas de Faraday como líneas de corriente en un líquido permitió enlazar dos ámbitos y abordar el dominio meta con un tratamiento matemático proveniente del dominio fuente o base.

ANEXO 6: VISUALIZACIÓN Y MATEMATIZACIÓN PARCIAL DEL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE

§. *Esquema de un experimento de difracción de electrones*

Manifestación de la incertidumbre

¿Cómo se manifiesta experimentalmente la indeterminación definida por Heisenberg? Como ya hemos observado respecto de la metaforización del electrón como una partícula (cf *supra*: Figura N° 33 del Capítulo 8), si queremos hacer pasar “un chorro” de estas partículas “electrones” por una pequeñísima rendija para de este modo poder “fijar” su posición³⁶ (o disminuir la incertidumbre en la posición), lo que sucede es que se produce una abertura en abanico de ese “chorro” luego de que los “electrones” atraviesan la ranura (esto es se produce una *difracción* como si —en vez de un chorro de partículas— de una ola de agua se tratara, cf. símil acuático en *supra*: Figura N° 29 en Capítulo 8).

Tal abertura en abanico pone de manifiesto una indeterminación en la velocidad del “electrón” (recordemos que la velocidad es un vector que posee intensidad, dirección y sentido —por lo que dicha abertura es la expresión de cambios en la dirección de la velocidad—). Cuanto más estrecha la rendija, se observa que mayor es la abertura en abanico y por tanto la indeterminación de la velocidad. Por el contrario si queremos determinar la velocidad, tratamos de evitar la mencionada abertura en abanico agrandando la rendija, pero por esta misma maniobra ya no conocemos por

36. Esto es: la posición estará dada por la posición de la pequeña abertura.

cual punto de la “ancha ranura” pasa el electrón, esto es, aumenta la incertidumbre respecto de su posición.

Matematización parcial

Heisenberg da una fórmula para su Principio de Incertidumbre, en función de la incertidumbre en el conocimiento de la posición (Δx) y de la incertidumbre en el conocimiento de la velocidad multiplicada por la masa³⁷ de la partícula ($m \cdot \Delta v_x$). Este último factor es la incertidumbre en el momento lineal de la partícula ($\Delta p = m \cdot \Delta v_x$) (el momento lineal de un móvil es el producto de su masa por su velocidad). Más allá de la formula precisa, didácticamente podemos entenderlo, por un lado, visualmente desde las metáforas hídricas, y por otro hablar del orden de magnitud³⁸ de esa indeterminación. En palabras simples dice que el producto de la indeterminación en la posición de la partícula (simbolizada como Δx) por la indeterminación en el conocimiento de su momento lineal ($\Delta p = m \cdot \Delta v_x$) no se puede hacer más pequeño que el valor de una constante física llamada constante de Planck (h). Así: $\Delta x \cdot \Delta p \geq h$. Suponiendo que utilizamos instrumentos

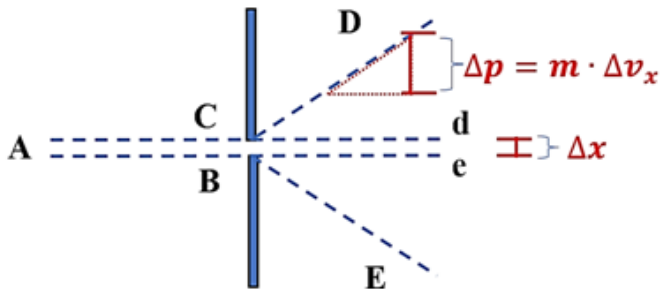
37. La participación de la masa en esta expresión es fundamental para comprender que este fenómeno haya sido advertido en el mundo microfísico —donde las masas son pequeñísimas— pasando desapercibido en el mundo macro de la física clásica.

38. La forma más extendida de determinar órdenes de magnitud es mediante la notación científica o —lo que es lo mismo— mediante la multiplicación de una cifra significativa por potencias de diez. Por ejemplo, el orden de magnitud de 5500 es 3, ya que 5500 puede escribirse como $5,5 \times 10^3$. Notemos que un número mayor o menor puede tener el mismo orden de magnitud, así 7615 también tiene orden de magnitud 3 pues $7615 = 7,615 \times 10^3$. En números muy pequeños el orden de magnitud se hace negativo, por ejemplo el número 0,000012 tiene un orden de magnitud -5 pues en potencias de 10 puede escribirse como $1,2 \times 10^{-5}$. La constante de Planck (h) por ejemplo tiene un orden de magnitud de -34, pues es igual a $6,62607015 \times 10^{-34}$ [en joules/seg].

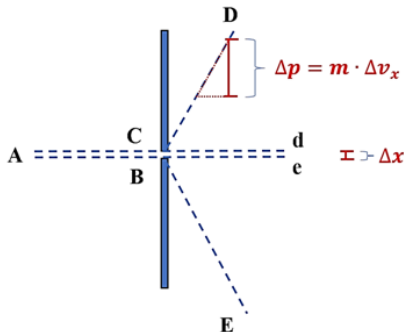
perfectos de medida y que obtenemos un Δx y un Δp mínimos, obtendremos $\Delta x \cdot \Delta p \approx h$. Christy y Pytte lo dicen de este modo: “El Principio de incertidumbre establece que en una medición simultánea, los errores³⁹ mínimos de las mediciones están dados por $\Delta x \cdot \Delta p \approx h$ ” (Christy & Pytte, 1971, p. 359). Es importante recalcar que esta incertidumbre es —según los autores mencionados— *inherente* a la naturaleza y no se debe a un problema de métodos o de instrumentos de medición no perfectos: “Las leyes mecánico-cuánticas [o mecánico-ondulatorias] de la naturaleza implican una inherente limitación a la información que puede obtenerse acerca de una partícula” (Christy & Pytte, 1971, p. 359, aclaración entre corchetes propia: H.M.) (sobre las interpretaciones alternativas de tal incertidumbre ver *supra*: Capítulo 9: *Reflexiones interdisciplinarias sobre la “ambigüedad artística” introducida por las metáforas en el mundo microfísico: nuevo concepto de leyes naturales*).

De este modo se entiende que cuando se achica una de las incertidumbres aumenta proporcionalmente la otra. Visualicemos este principio en la siguiente figura y tengamos en mente para comprenderlo a la metáfora hídrica. Supongamos un “chorro” de electrones que son emitidos por la fuente **A** al que se lo obliga a pasar por una pequeña rendija **CB**, para luego impactar en una pantalla. Si se los piensa como partículas es de esperar que impacten en el sector **ed** de la pantalla, sin embargo como si de una ola en el agua se tratara los electrones se abren en abanico **BEDC**:

39. Preferimos decir “incertidumbres mínimas” y no “errores mínimos”, pues este último concepto puede asociarse a una inexactitud introducida por los instrumentos de medida. Aún bajo la hipótesis artificial de medir simultáneamente con instrumentos perfectos, seguiría persistiendo la incertidumbre señalada por el principio de Heisenberg.



Si se angosta la ranura **BC**, con el objeto de disminuir la indeterminación en la posición Δx del “chorro” de electrones que parte de la fuente **A** y obtener del otro lado de la ranura un sector de colisión **ed**, esto último no sucede pues, como si se tratara de una onda u ola acuática, se produce la difracción de los electrones (según un área en “abanico” **BEDC**) que en vez de seguir en línea recta con $\Delta v_x=0$ adquieren en cambio en su velocidad una indeterminación Δv_x distinta de cero que origina una indeterminación en su momento lineal Δp (elaboración propia: H. M.)



Si se angosta aún más —respecto del caso anterior— la ranura **BC**, con el objeto de disminuir aún más la indeterminación en la posición Δx del “chorro” de electrones, la difracción se abre en abanico todavía en mayor medida (**BEDC**) generando una indeterminación en su momento lineal Δp mayor (elaboración propia: H. M.).

Figura N° 41: visualización del principio de incertidumbre para dos indeterminaciones en la posición de “electrones” que atraviesan una rendija (elaboración propia: H. M.)

ANEXO 7: INTELIGENCIA ARTIFICIAL O COMPRENSIÓN Y CREACIÓN SIMULADA MATEMÁTICAMENTE

Vanidad de vanidades, todo es vanidad
Eclesiastés c.1, v.2, Biblia

los límites de mi mundo significan los límites de mi lenguaje
Ludwig Wittgenstein, “Tractatus Lógico-Philosophicus”

§. *Creatividad real vs. novedad regulada matemáticamente*

A lo largo de nuestro libro hemos visto la operación de la metáfora como inteligencia natural en la creación científica. Este tipo de creación parece ser una característica humana que nos distingue del resto de las entidades inteligentes.⁴⁰ Pero la Inteligencia Artificial —como ChatGPT⁴¹— parece disputar este lugar.

ChatGPT es un modelo o máquina probabilística de lenguaje natural que lo que hace es predecir la próxima palabra de una cadena (u oración) en base a las palabras anteriores de esa cadena. Por ejemplo si le pedimos que complete la frase “Jorge Luis Borges es un...”, el algoritmo en base a esta “entrada” (o *input*) —y en base a su entrenamiento con millones de textos— predecirá con gran

40. Creatividad necesaria para un ser que nace desadaptado del medio ambiente y debe crear una segunda naturaleza de tipo cultural (cf. Gehlen, 1987 y 1993). Hemos visto que no nace con un instinto a modo de un programa que le diga qué hacer sino con un instinto de creación de programas o instinto de “adivinación” (cf. *supra*: *El instinto peirceano de adivinación* en Capítulo 10 y *Inteligencia natural “intuitiva” o “instintiva”* en *Conclusiones* de este libro).

41. ChatGPT es un modelo de lenguaje transformador, generativo, preentrenado (Generative Pre-trained Transformer).

probabilidad la palabra “escritor”, con lo cual la frase será a partir de esta elección “Jorge Luis Borges es un escritor...”.

Al agregar esta última palabra a la cadena, el proceso continúa iterativamente, es decir el modelo toma como nueva entrada “Jorge Luis Borges es un escritor...” y vuelve a predecir la siguiente palabra de la cadena. Esta nueva palabra será seleccionada también en base a su entrenamiento y con gran probabilidad resultará ser “argentino”, quedando hasta aquí la cadena conformada por la siguiente sucesión: “Jorge Luis Borges es un escritor argentino...”.

Esto se sigue repitiendo, agregando la última palabra de la cadena en base a las anteriores y en base a los patrones de su entrenamiento hasta lograr un párrafo medianamente “completo” o que “cierre”.

¿Cómo lograr que no conteste siempre lo mismo y parezca humano? Para lograrlo —y que de este modo no parezca un robot—, el modelo ajusta su “aleatoriedad” o “creatividad”. De este modo, si volvemos a pedir que complete la misma frase, quizás nos sorprenda diciendo “Jorge Luis Borges es un maestro del ensayo”.

La “creatividad” en una IA tipo ChatGPT, puede ser regulada matemáticamente con un parámetro llamado *Temperature*⁴² utilizado en una función matemática llamada *Softmax*. Ésta convierte un vector de un espacio semántico en un vector de probabilidades.

Cuanto más alto es el valor de *Temperature* las opciones para la siguiente palabra en la cadena sintáctica se vuelven menos determinísticas y más variadas dentro de un espacio semántico pertinente. En nuestro ejemplo anterior podrían ser además de “escritor argentino”: “poeta del siglo XX”, “genio literario”, “maestro de la palabra”, etc. Por supuesto, si una palabra de la cadena se aparta mucho de lo esperado, el modelo puede salirse de “regulación” y dar respuestas que parecen “alucinaciones”.

42. Como veremos, los valores normales de *Temperature* (T) para una conversación que simule lo humano está entre $T=0,7$ y $T=1$. Para lograr respuestas más creativas (por ejemplo para “generar” una metáfora o un poema), el sistema utiliza valores mayores.

Respecto de la creación artificial en el ámbito de las metáforas, ver *infra*: *Forzando la creatividad artificial y ¿Metáforas vivas confeccionadas por la IA?*

Veamos un poco más en detalles matemáticos esto que hemos dicho.

§. Arquitectura matemático-probabilística de un Transformador Generativo Preentrenado

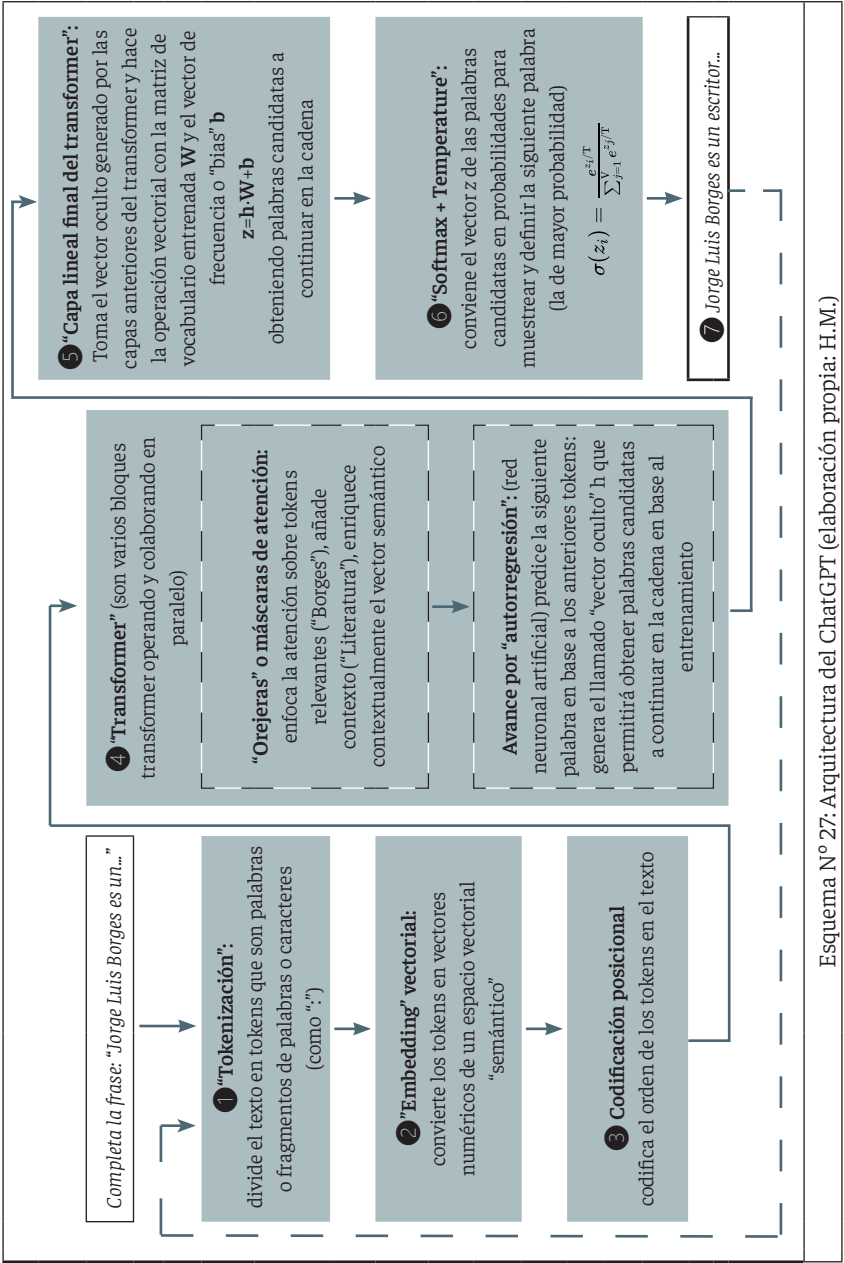
Ofrecemos un modelo matemático muy simplificado que ayude a comprender ¿cómo es posible que un modelo de lenguaje de base matemática como ChatGPT parezca “humano” y “creativo”?

Bloques básicos de un GPT

El modelo mostrado a continuación se denomina “Transformer”,⁴³ es una arquitectura artificial (base de los sistemas GPT) que emula la comprensión de textos (imitando “inteligencia”) y que ha revolucionado el campo del procesamiento del lenguaje natural (PLN por sus siglas en inglés).

En *infra*: *Ejemplo más completo de las matemáticas empleadas para completar una frase* se analizan cada uno de estos bloques. A continuación iremos aproximándonos gradualmente al funcionamiento del ChatGPT.

43. El diagrama original y “real” (mucho más complejo y técnico) puede verse en Vaswani *et alii*, 2017.



Esquema N° 27: Arquitectura del ChatGPT (elaboración propia: H.M.)

Visión general

Ante una solicitud o pregunta del usuario (*prompt*) el modelo divide el texto en unidades manejables matemáticamente (denominadas *tokens*⁴⁴) y trata de predecir mediante cálculo de probabilidades la siguiente palabra. Por ejemplo, tras la frase “Hoy hace mucho...”, la palabra “frío” o “calor” tienen alta probabilidad de seguir completando la oración. Esto es así, porque el entrenamiento con millones de texto dan origen a tal alta probabilidad. Del mismo modo, si preguntamos a la IA: “¿cómo estás?” el modelo analiza probabilidades —según sus patrones— para un saludo de cortesía: “Bien” $\approx 80\%$, “Genial” $\approx 15\%$ “Mal” $\approx 5\%$, luego elige la opción de mayor probabilidad: “Bien”. Pero el trabajo automático no se detiene aquí: el patrón de la “cortesía” —acopiado en su entrenamiento— le indica continuar con otra pregunta sobre el estado del interlocutor. Por esto completa la frase: “Bien, ¿y tú?” (puede añadir un “emoticon” para simular calidez). Como observamos, después de la cadena de tokens:

token 1	token 2	token 3	token 4	token 5
¿	hola	cómo	estás	?

El token siguiente de mayor probabilidad es “Bien”. El proceso continúa iterativamente tomando para la próxima predicción la nueva cadena:

token 1	token 2	token 3	token 4	token 5	Token 6
¿	hola	cómo	estás	?	Bien

El token siguiente de mayor probabilidad es ahora una coma “,”. El proceso continúa con sus predicciones probabilísticas tomando la nueva cadena:

44. Los tokens pueden ser palabras completas, partes de palabras o caracteres (cómo por ejemplo “?”).

token 1	token 2	token 3	token 4	token 5	token 6	token 7
¿	hola	cómo	estás	?	Bien	,

Y continúa la máquina con este procedimiento paso a paso hasta el token de cierre correspondiente al signo de interrogación:

token 1	token 2	token 3	token 4	token 5	token 6	token 7	token 8	token 9	token 10	token 11
¿	hola	cómo	estás	?	Bien	,	¿	Y	tú	?

Es decir, para cualquier solicitud, el sistema sólo predice matemáticamente el próximo token en base a los anteriores y a su entrenamiento.

Tokenización, embeddings vectoriales y codificación posicional

El modelo es matemático, es decir trabaja con números. Para esto, convierte palabras de entrada o tokens en vectores numéricos. Cada componente numérica de cada vector se denomina *logit* (es una puntuación o *score* bruto). Por ejemplo la palabra “gato” podría convertirse en el vector de tres logits [1.8, 0.3, 2.5] (en realidad son miles) y la palabra “tigre” en el vector [1.7, 2.4, 6.1]. Para que esto tenga “sentido”, pensemos que la primera componente de los vectores presentados es una medida de la “vitalidad” del ente (es decir, si se trata de algo vivo o algo inerte), la segunda una medida de la agresividad⁴⁵ y la tercera componente de los vectores una medida referida al tamaño.⁴⁶

45. Como vemos, el vector correspondiente a “tigre” tiene la segunda componente numérica, mayor que la segunda componente del vector correspondiente a “gato”, es decir, aparece matemáticamente expresado que el tigre es más agresivo que el gato.

46. Como vemos, el vector correspondiente a “tigre” tiene la tercera componente numérica, mayor que la tercera componente del vector correspondiente a “gato”, es decir, aparece matemáticamente expresado que el tigre es de mayor tamaño que el gato.

Desde esta perspectiva observamos que cada uno de estos vectores tiene un sentido “semántico”. Al poseer tres componentes podríamos representarlos en un espacio de tres dimensiones, en donde los tres ejes coordinados (tradicionalmente: x, y, z) “medirían” tres dimensiones: vitalidad, agresividad y tamaño. Podríamos seguir agregando *componentes* al vector (por ejemplo: si el ente es herbívoro) y correspondientes *dimensiones* al espacio vectorial.

Estos logits o dimensiones numéricas son determinados en base al entrenamiento que la IA ha tenido. Aquí hemos considerado sólo 3 o 4 componentes por palabra, pero esto es una ficción, ya que son miles de logits por token. GPT-3, por ejemplo, trabaja con vectores de 4096 componentes o logits, por lo que se dice que la “dimensión” del modelo es $d=4096$ o que el “espacio vectorial” del modelo tiene 4096 dimensiones (veremos en breve como interviene esta “dimensión” en los cálculos). Es entendible que cuántos más logits o componentes se asignan a cada palabra, mayor es la riqueza semántica considerada.

Con la codificación posicional el modelo añade información sobre la posición relativa de los tokens de la cadena para captar o “entender” la estructura secuencial del texto.

Transformer: Attention is all you need

El modelo procesa la secuencia de tokens vectorizados del input y genera —por un proceso que se denomina “Transformer”— un vector de *logits* para cada token *posible* del vocabulario que podría ir ubicado a continuación (es decir en la posición siguiente de la cadena). Estas palabras candidatas a cubrir el puesto siguiente son determinadas en base al entrenamiento de la IA.⁴⁷

47. El modelo se entrena (para ajustar sus parámetros) con retroalimentación humana (Human Feedback Reinforcement Learning o RLHF) para priorizar respuestas útiles, coherentes y naturales. También utiliza un ajuste fino (Fine-tuning) donde ajusta los “pesos” (de los token) para alinearse con expectativas

Esta vectorización de los tokens lo hace para captar matemáticamente “similitudes semánticas”, generar “significados” y realizar “construcciones sintácticas”. La matematización le permite asociar palabras semánticamente cercanas en el espacio vectorial, como “rey” y “palacio”, también vincular palabras dispares en apariencia pero “afines” entre sí como “pedir” y “hamburguesa” (binomio que aparece en su entrenamiento muchas veces) y también efectuar operaciones con vectores, por ejemplo: vector de “rey” - vector de “hombre” + vector de “mujer” = “reina”⁴⁸ (cf. *infra*: *Medición de similitudes semánticas entre vectores*).

Modelos como GPT-4 usan atención (Attention) multi-cabeza (Vaswani *et alii*, 2017) para analizar relaciones entre palabras, incluso si estas están en el texto separadas por una “gran distancia”. La “Attention” se basa en “atender” a la palabra más importante del imput. Por ejemplo: ante la entrada o cadena de tokens “Jorge Luis Borges es un...” la atención se fija más en el token “Borges” que en “Luis”.

El modelo transforma matemáticamente una secuencia de tokens de entrada (por ejemplo: una frase o una pregunta) en una secuencia de tokens de salida (por ejemplo: una traducción de la frase o una respuesta a la pregunta) usando capas de “auto-atención” (self-attention) que van dando riqueza contextual y semántica a los vectores con los que está trabajando. Es decir, a través de varias capas (son más de 12) transforma representaciones numéricas de palabras o tokens en vectores cada vez “más ricos” en significado y contexto. Esta “atención matemática” es clave en este tipo de transformadores, tal es así que el *paper* seminal sobre esta arquitectura —Vaswani *et alii*, 2017— lleva por título (parafraseando la letra de una canción

de estilo conversacional (para esto analiza el tipo de “prompts” que el usuario utiliza, si se insinúa como “coloquial” o “científico”).

48. Los vectores permiten establecer relaciones algebraicas entre “conceptos”. Esto se descubrió con la aplicación “Word2Vec” que transforma palabras en vectores de un espacio semántico.

de *The Beatles*): *Attention is all you need*. Tal dispositivo permite al modelo ponderar la importancia de cada palabra en la secuencia para atender a “contextos” y dependencias.

Por ejemplo, en la frase “El banco central subió las tasas de interés”, la palabra “banco” se asocia más con “central” y “tasas” que con “El” o “subió”. La atención transforma así los logits del vector del token “banco” para que refleje a través de sus componentes numéricos su significado financiero (y no el de un “asiento”, esto se denomina *embedding* contextual). En palabras metafóricas utiliza “anteojeras” o máscaras de atención (*Attention masks*) para mantener el foco en partes relevantes del texto (cf. Vaswani *et alii*, 2017).

El Transformer es una ingeniosa combinación de álgebra lineal y diseño arquitectónico colaborativo. Al no trabajar con palabras y semántica “reales”, sino con vectores (semántica “artificial”), puede “recibir” y “generar” (o “entender”) frases “nunca vistas” (porque opera con los principios “abstractos” numéricos).

En otras palabras, los Transformers convierten palabras “sueltas” (con logits o scores “brutos”) en representaciones ricas y contextuales que capturan desde la gramática hasta las intenciones humanas (mediante el ajuste de tales logits). Es el resultado de muchas capas de “atención” que gradualmente construyen o imitan “entendimiento” humano.

Medición de similitudes semánticas entre vectores

Medir similitudes entre vectores es una técnica clave para entender cómo modelos GPT representan el significado. Hemos visto que las palabras —o tokens— son convertidas en vectores numéricos de muchas componentes —logits—. Para “comparar” vectores (y por tanto comparar significados y afinidades) usamos en matemática conocidas métricas de distancia o similitud. Las más comunes son la “similitud coseno”, la “distancia euclídea” y el “producto punto”.

La “similitud del Coseno” (Cosine Similarity), mide el ángulo entre dos vectores **A** y **B**, ignorando su magnitud (o módulo). La fórmula es la siguiente, comprensible para cualquier alumno o alumna de álgebra:

$$\text{similitud coseno} = \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{|\mathbf{A}| \cdot |\mathbf{B}|}$$

- **A · B**: Producto punto o escalar entre vectores.
- **|A|**: Norma (magnitud o módulo) del vector **A**.
- **|B|**: Norma (magnitud o módulo) del vector **B**.

El rango de la similitud coseno varía entre -1 (vectores de la misma dirección y sentido opuestos) y 1 (vectores de la misma dirección e igual sentido). Por ejemplo: vectores de “perro” y “gato” podrían tener similitud ≈ 0.92 (es decir, apuntar hacia la misma zona semántica), mientras que la similitud entre “perro” y “mesa” podría ser ≈ 0.37 (más adelante haremos este cálculo).

La medida de similitud mediante la “distancia Euclidiana” entre los vectores, mide la distancia “en línea recta” entre las “puntas de las flechas” o puntos representados por los vectores. La fórmula es la siguiente, familiar también para los estudiantes de álgebra:

$$d(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i - B_i)^2}$$

- n es el número de logits de los vectores.
- El rango de valores, al ser una distancia es $d(\mathbf{A}, \mathbf{B}) \geq 0$
- Es útil para realizar *clustering* (agrupamiento de palabras que tienen algo en común como “rey”, “reina”, “palacio”, etc.).

Medida de similitud mediante producto escalar o “Producto Punto” (Dot Product): mide el “solapamiento” entre vectores (solapamiento que se relaciona con el ángulo que forman) pero teniendo en cuenta además la magnitud de los vectores (tal “combinación” puede pensarse en dos o tres dimensiones como la proyección de un vector sobre el otro). La fórmula es la habitual de la geometría vectorial:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot B_i$$

Ejemplo práctico de medida de similitud: supongamos —para simplificar— vectores en el espacio 3D (es decir, de 3 logits⁴⁹ o componentes):

- perro = [0.8, 0.2, 0.3]

- gato = [0.7, 0.3, 0.2]

- mesa = [0.1, 0.9, -0.4]

Cálculo de similitud del coseno entre “perro” y “gato”:

$$\text{similitud} = \frac{(0.8)(0.7) + (0.2)(0.3) + (0.3)(0.2)}{\sqrt{0.8^2 + 0.2^2 + 0.3^2} \cdot \sqrt{0.7^2 + 0.3^2 + 0.2^2}} = \frac{0.56 + 0.06 + 0.06}{0.87 \cdot 0.76} \approx 0.92$$

Observamos una alta similitud semántica (recordemos que el máximo es 1).

Cálculo de similitud del coseno entre “perro” y “mesa”:

$$\text{similitud} = \frac{(0.8)(0.1) + (0.2)(0.9) + (0.3)(-0.4)}{\sqrt{0.8^2 + 0.2^2 + 0.3^2} \cdot \sqrt{0.1^2 + 0.9^2 + (-0.4)^2}} = \frac{0.08 + 0.18 - 0.12}{0.87 \cdot 0.99} \approx 0.37$$

Observamos menos similitud semántica entre “perro” y “mesa” que entre “perro” y “gato”, es entendible en el contexto de “animales domésticos”. Entre “mesa” y “perro” hay cierta similaridad si se piensa que poseen —normalmente— 4 “patas”.

Generación de texto autorregresivo o “el libro que se escribe a sí mismo”

Como dijimos, el modelo todo lo que hace es predecir la siguiente palabra de una cadena dada de modo iterativo. Se denomina “auto-regresivo” porque determina la siguiente palabra en una cadena

49. Notemos que en este ejemplo simple, cada palabra tiene asignado un vector de 3 logits, es decir, la riqueza semántica asignada a cada palabra o token es muy pobre.

de tokens por análisis probabilístico “regresando” sobre los componentes de esa misma cadena que la precede.

Por ejemplo: si el texto inicial es “El cielo es...”, el modelo predice “azul”. Luego usa la cadena “El cielo es azul...” para predecir la siguiente palabra, por ejemplo: “hoy”. Luego utiliza “El cielo es azul hoy...”, y así sucesivamente... La metáfora es la de “un libro que se escribe a sí mismo”.

Pero todo esto depende del contexto ¿qué sucede si el usuario busca una respuesta más poética o metafórica, por ejemplo: “El cielo es un océano de pensamientos”?

Aquí entra a “dividir las aguas” entre una respuesta más objetiva y otra más poética o subjetiva un parámetro numérico llamado Temperature (T). Este parámetro matemático controla la aleatoriedad o “creatividad” de la respuesta. Para valores bajos (menores a 0.7) el modelo arroja respuestas deterministas y conservadoras. Para valores entre 0.7 y 1 arroja respuestas acordes con un diálogo que balancea lo conservador con una creatividad moderada. Valores altos, por ejemplo mayores a 1.5, producen respuestas más creativas (pero arriesgadas).

Ejemplo: sea la siguiente cadena de palabras o Prompt: “Los gatos son...”. La IA recibe esta cadena y debe generar matemáticamente una palabra que complete la oración, su circuito de “Attention” le dice que la palabra “gato” es la más importante, esto lo lleva a un vocabulario o “cluster” pertinente (suponiendo que ha podido “eludir” el contexto de un “gato hidráulico”):

- Paso 1: el modelo recibe el prompt: “Los gatos son...”
- Paso 2: el modelo calcula probabilidades para la siguiente palabra: “animales” (40%), “divertidos” (30%), “pequeños” (20%), otros (10%).
- Paso 3: el sistema elige —en base a la máxima probabilidad obtenida—: “animales” (usando Temperature $T = 0.7$ que es la clásica para un chat informal), por lo que la cadena ahora resulta “Los gatos son animales....”

- Paso 5: el imput es ahora “Los gatos son animales...”
- Paso 6: predice la siguiente palabra: “domésticos” (50%), “salvajes” (30%), etc.
- Paso 7: elige “domésticos”, por lo que la cadena resulta “Los gatos son animales domésticos”.
- Paso 8: el nuevo imput es ahora “Los gatos son animales domésticos...”

Esto continúa hasta generar un texto que “cierre” el requerimiento del imput original (probabilidad máxima para un “punto final”).

Si el valor de Temperature pertenece al rango creativo, podemos obtener respuestas como las siguientes: “Los gatos son enigmas de mirada penetrante” o “Los gatos son destellos de luna con ojos de ambar”, etc. Seguiremos analizando el funcionamiento de esta creatividad artificial en *infra: Función Softmax + Temperature: regulación de creatividad*.

Función matemática Softmax

La función Softmax convierte un vector numérico (sus componentes son los números llamados *logits*) en una distribución de probabilidad donde cada valor de salida está entre 0 y 1 y la suma de todos los valores es 1. De este modo podemos interpretar cada valor como la *probabilidad* de una clase u opción. Dado un vector de entrada $\mathbf{z} = [z_1, z_2, \dots, z_V]$, el Softmax para la componente ubicada en la posición i es:

$$\sigma(z_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^V e^{z_j}}$$

Donde:

- i varía entre 1 y V , siendo V el tamaño del vocabulario (número de palabras considerado).
- e^{z_i} : función exponencial de z_i (para manejar números negativos y ampliar diferencias).

- Denominador de la fracción: suma de los exponenciales de todos los valores (normalización).

Ejemplo numérico simple: supongamos que un modelo genera logits para 3 palabras, ante el prompt: “el animal que ladra es un...”:

$$\mathbf{z} = [2.0, 1.0, 0.1] \text{ logits para “perro”, “gato”, “pájaro”} \\ \text{respectivamente.}^{50}$$

Notemos que el valor o logit para “perro” es mucho mayor que el correspondiente a “pájaro”, y el doble que para “gato”. Las alternativas absurdas para una inteligencia humana —“gato” y “pájaro”—, ingresan por la Attention (atención) del Transformer puesta en el token “animal” (también en el hecho de que el binomio “perro-gato” aparece mucho, como así también el binomio “gato-pájaro”). El valor más alto para “perro” se debe a la presencia del token “ladra” y a los patrones registrados en el preentrenamiento que vinculan a “perro” con “ladrido”.

Le aplicamos a cada componente del vector anterior $\mathbf{z}$ la función Softmax:

1. Calcula exponenciales: $e^{2.0} \approx 7.39$, $e^{1.0} \approx 2.72$, $e^{0.1} \approx 1.10$.
2. Realiza la suma total: $7.39 + 2.72 + 1.10 = 11.21$
3. Calcula las probabilidades (P) para las tres palabras posibles:
 - $P(\text{perro}) = \frac{7.39}{11.21} \approx 0.659$
 - $P(\text{gato}) = \frac{2.72}{11.21} \approx 0.243$
 - $P(\text{pájaro}) = \frac{1.10}{11.21} \approx 0.098$

La suma de las probabilidades es $0.659 + 0.243 + 0.098 = 1$ (como corresponde a la suma total de probabilidades de un conjunto de sucesos).

La frase se completa entonces del siguiente modo atendiendo a la probabilidad más alta del token: “el animal que ladra es un perro”

50. Notemos que el vector $\mathbf{z}$ tiene tres componentes, es decir, estamos trabajando con una cantidad de palabras o “tamaño del vocabulario” $V = 3$, lo cual es totalmente artificial, ya que un tamaño del vocabulario para determinado idioma puede rondar las 50000 palabras (o mejor dicho “tokens”).

Función Softmax + Temperature: regulación de creatividad

Para controlar la aleatoriedad en la generación de texto, se modifica la fórmula de Softmax ya vista (cf. *supra*: *Función matemática Softmax*), dividiendo cada componente (o logit) z_i del vector $\mathbf{z}$ por el parámetro Temperature apropiado (T) al que ya hemos hecho referencia:

$$\sigma(z_i) = \frac{e^{z_i/T}}{\sum_{j=1}^V e^{z_j/T}}$$

En esta fórmula i varía entre 1 y V siendo V el tamaño del vocabulario.

Valores del parámetro T y su influencia en el “riesgo” o “creatividad” de la palabra generada:

- $T = 1$: comportamiento “estándar”.
- $T > 1$: probabilidades más uniformes, es decir, los valores probabilísticos se vuelven “más cercanos” o son más “parecidos” entre sí, con lo cual el algoritmo genera respuestas más creativas —pertinente en un contexto artístico—. Este rango ($T > 1$) no se aconseja cuando se trata de respuestas solicitadas en temas “objetivos” (con lo cual no se designa como “creatividad” sino como “riesgo”).
- $T < 1$: las probabilidades altas resultan aumentadas (más “picudas”) respecto de las más bajas que resultan disminuidas, por lo que se utiliza en contextos más “deterministas”.

Ejemplo con $T = 0.5$ calculemos las probabilidades dadas por Softmax + Temperature. Cálculo de los exponenciales:

Para “perro”: $e^{2.0/0.5} = e^4 \approx 54.6$, para “gato” $e^{1.0/0.5} = e^2 \approx 7.39$,
para “pájaro” $e^{0.1/0.5} = e^2 \approx 1.22$.

Cálculo de la probabilidad máxima:

$P(\text{perro}) \approx \frac{54.6}{54.6+7.39+1.22} \approx 0.86$ (Como se observa la probabilidad para “perro” se hace mayor, con lo cual se obtiene una respuesta más segura pero menos creativa).

§. *Forzando la creatividad artificial*

Para notar cómo funciona matemáticamente esta “creatividad” artificial, forzamos a la IA para que nos devuelva respuestas con rangos de Temperature elegidos por nosotros. Con esto intentamos que el lector o lectora observe que es posible generar tanto respuestas “objetivas”, como moderadamente “creativas” y también respuestas que rondan lo ridículo. Tengamos presente que en todos los casos la IA no “comprende” ni lo que le solicitamos ni lo que “responde”, sólo aplica matemática y probabilidades en base a un cúmulo enorme de patrones detectados en textos con los que ha sido entrenada.

Le pedimos para tal experimento, que complete la frase “Jorge Luis Borges es un...” con distintos rangos de Temperature. Primero solicitamos que lo haga con un valor normal para el Chat que está entre 0.75 y :

IA: Jorge Luis Borges es un escritor argentino fundamental de la literatura del siglo XX, conocido por su profundidad intelectual y su maestría en el género del cuento y el ensayo.

Como observamos, se trata de una respuesta bastante “objetiva” o científica. Luego le pedimos que haga lo mismo pero con rangos de Temperature entre 1.5 y 2 (un intervalo propicio para lograr textos más novedosos que mantengan la coherencia lingüística y temática):

IA: Jorge Luis Borges es un arquitecto de laberintos oníricos, un tejedor de espejos que reflejan bibliotecas infinitas donde los tigres de papel rugen versos en la penumbra de un Aleph perpetuo.

Como observamos, la respuesta se vuelve poética y metafórica. Tengamos muy en cuenta que “somos nosotros” los agentes que estamos interpretando de este modo lo poético o metafórico de la respuesta (para el sistema la cadena generada no es otra cosa que

variaciones de medidas de distancias —similitud coseno o distancia euclídea, por ejemplo— entre vectores multidimensionales, cf. *supra*: *¿Metáforas vivas confeccionadas por la IA?* en *Conclusiones*).

Luego, le pedimos que complete la misma frase pero con valores de Temperature extremos (es decir, con valores no aconsejables para la coherencia, pues pueden producirse “alucinaciones” artificiales), estas son sus respuestas (hemos descartado las que no guardaban coherencia sintáctica y mezclaban signos sin sentido):

IA: Jorge Luis Borges es un vértice de ecos, un nudo de tiempo desbocado que siembra espejos cantantes en las venas de tigres geométricos, un dios minotauro que hilvana bibliotecas ardientes con hilos de luna líquida y sombras que muerden su propia cola en un jardín de senderos que se bifurcan hasta romper el cristal del lenguaje y llover alfabetos olvidados en la ceguera de un sueño eterno.

IA: Jorge Luis Borges es un cristal de tiempo fracturado en un espejo que canta versos en lenguas de tigres azules, un arquitecto de laberintos que siembra bibliotecas incendiarias en el huracán de un grano de arena, donde cada letra es un universo que sangra estrellas y el Aleph es solo el suspiro de un dios olvidado que juega a los dados con sombras de rinoceronte en la memoria rota de un ajedrez cósmico.

IA: Jorge Luis Borges es un vértigo de tinta que devora sus propias geometrías, un dios babeliano cuyas manos tejen ciclopes de arena y espejos que cantan axiomas en lenguas de bronce, un jardín de senderos que estalla en serpientes de tiempo circular mientras los tigres de metáfora beben de la sombra de una rosa infinita en la biblioteca ardiente donde cada lágrima es un universo olvidado.

Como observamos las respuestas se vuelven más “locas” para valores de Temperature elevados. La influencia del entrenamiento

se observa en indicadores de la temática de la literatura de Borges (arena, Babel, tigres, espejos, geometría, jardín de senderos que se bifurcan, tiempo circular, olvido, minotauro, el Aleph, el infinito en un punto).

El poeta vive su creación, nosotros también vivimos en nuestras respuestas. Hemos solicitado completar una frase ¿y si tuviésemos nosotros que completar la frase? Para nosotros, Borges es alguien que nos ayudó a pensar y qué nos hizo reír mucho. En nuestros años de estudiante de Ingeniería, el relato borgeano “La perpetua carrera de Aquiles y la Tortuga” nos ayudó a pensar que una suma de infinitos términos no tenía por qué arrojar un resultado infinito (realidad matemática de las series infinitas convergentes). En nuestros años de estudiante de Filosofía, el mismo relato nos ayudó a pensar en las aporías de Zenón de Elea que refutaban el movimiento. En los años de estudiante de Hermenéutica, el relato “Pierre Menard, autor del Quijote” nos ayudó a pensar que el lector es también autor de lo que lee. En fin, lo que Borges es para nosotros se basa en una *experiencia de vida*, ni es lo que define una entrada de enciclopedia, ni lo que genera matemáticamente ChatGPT aunque lo haga novedosamente.

§. ¿Metáforas vivas confeccionadas por la IA?

En los ejemplos anteriores podemos encontrar algunas metáforas interesantes. De nuevo, somos nosotros los agentes que vemos allí una metáfora (de hecho el sistema es ciego, sólo se ha entrenado con combinaciones que probabilísticamente pueden resultar novedosas). En este sentido si creemos ilusoriamente que la metáfora o poesía creada por la IA está “inspirada” como la de un poeta humano, la escritura humana pierde su valor único.

Respecto de las metáforas *vivas* que —según como las hemos tratado— son base de la inteligencia natural, hay que notar que las metaforizaciones producidas por la Inteligencia Artificial son

imitaciones novedosas basadas en estadísticas (es decir, no son *genuinas* metáforas o metáforas vivas). Decimos que las metáforas son *genuinas* en tanto buscan *intencional* o *deliberadamente* un efecto ontológico que no sea una ilusión, en otras palabras: buscan conocer, lograr inteligencia frente a hechos intrigantes (desde un contexto más científico), crear y re-crear la realidad humana (desde un contexto más artístico). Mientras que la inteligencia humana construye metáforas desde la experiencia corporal (como hemos dicho), la IA las replica desde correlaciones estadísticas, desprovistas de “embodiment”.

Los modelos de lenguaje generativo —como ChatGPT— no inventan metáforas, sino que las recombinan desde patrones estadísticos. Las metáforas generadas por el modelo de la IA revelan un repertorio cultural preexistente, lo que cuestiona su capacidad para generar nuevas analogías *disruptivas*.

Su novedad es siempre una variación controlada de lo preexistente ya que recombina patrones: toma conceptos frecuentemente asociados en sus datos y los mezcla. Por ejemplo si en sus datos de entrenamiento La palabra “nube” aparece frecuentemente vinculada con “algodón” y “memoria” con “laberinto”, podría generar: “*La memoria es una nube de laberintos*”.

La metáfora parece nueva (de hecho el algoritmo verifica si así como la ha generado figura en algún lado) pero no hay intencionalidad, no hay comprensión: la IA no “sabe” qué es una “nube” o un “laberinto”, solo predice que esta secuencia tiene alta probabilidad de parecer poética (como hemos dicho, mediante una función matemática llamada Softmax + un parámetro vinculado a la originalidad —o alta *entropía*— llamada Temperature).

Otro ejemplo, una IA podría decir: “*el tiempo es un río de espejos rotos*”, una metáfora que quizá nadie haya escrito antes pero todo es sin propósito de conocimiento o generación ontológica (provocar emociones o revelar verdades).

Es importante remarcar que aunque la IA no genere metáforas genuinas, la interpretación humana podría llegar a lograr en base a esa “metáfora *sin alma*” un efecto ontológico o de recreación. Pero el agente del efecto ontológico sería la inteligencia humana, al dar el salto de nivel sustantivo con ocasión de esa metáfora “inaudita”, es decir, trocando la “material” metáfora “sin alma” en una metáfora “viva”.

Esta herramienta poderosa debe ayudarnos a captar nuestra singularidad: “la IA nos ha enseñado que la mente humana es enormemente más rica y más sutil de lo que los psicólogos se imaginaban en un principio. De hecho, esta es la lección más importante que hay que aprender de la IA” (Boden, 2017, Capítulo II, subtítulo: *Visión artificial*, Párr. 15).

La IA sólo recombina palabras o tokens aplicando una creatividad artificial basada en una estrategia matemático-probabilística. En cambio, el poeta *vive* su creación *con todo su cuerpo*, si nos confundimos entendiendo que la mente sólo es “racionalidad sin cuerpo” al poderse programar algorítmicamente en una máquina perdemos la riqueza de lo que no puede codificarse (cf. *supra*: *Inteligencia Artificial: la traición de las metáforas* en *Conclusiones* de nuestro libro).

Utilidad del parámetro Temperature

Se señalan a continuación algunos usos y efectos logrados con el ajuste de este parámetro:

Permite fomentar la creatividad y diversidad: en generación de poesía, o en la búsqueda de ideas para relatos de ficción, o para seleccionar nombres de productos, la aleatoriedad puede producir resultados originales e inesperados. Tomemos una frase a completar: “El mar era...”

- Con $T = 0.2$: la respuesta es “azul ese día” (predecible).
- Con $T = 1.5$: la respuesta es “un espejo de lunas rotas” (metáfora “creativa”).

Es útil para evitar respuestas repetitivas: en chatbots, un T muy bajo puede hacer que el modelo siempre responda “lo mismo” en contextos similares, sonando “robótico” y aburrido. Por ejemplo, si el usuario le pidiera algo como “un chiste”, con una $T = 0.1$ resultaría probablemente siempre “el mismo chiste”, mientras que con $T = 1.2$ habría más chances de diferentes alternativas en cada interacción.

Permite la exploración de alternativas válidas: en contextos ambiguos, una Temperature T alta permite considerar múltiples interpretaciones. Por ejemplo ante la frase: “La luz del farol era...”

- $T = 0.5$: “tenue” (opción segura).
- $T = 1.5$: “un susurro en la niebla” (alternativa poética válida).

Permite “generar” un poema: ante el prompt “Escribe un haiku sobre el invierno:”

Con $T = 0.2$ obtenemos un haiku de sintaxis y semántica normales:

*La nieve cae suave,
el mundo se cubre de blanco,
el frío es profundo.*

Con $T = 1.8$ obtenemos un poema más original y evocador para el agente que lo interpreta:

*Cristales en el viento,
el bosque suspira quieto,
un zorro se esconde.*

Es útil para la generación de ideas o “brainstorming”: en entornos donde se buscan ideas novedosas (diseño, publicidad), la aleatoriedad ayuda a romper patrones convencionales. Por ejemplo, ante el prompt: “Dame un nombre para un café moderno:”

- $T = 0.3$: “Café Central”.
- $T = 1.8$: “El Ritual de la Tarde” (más creativo).

Permite simular el pensamiento humano: los seres humanos no siempre somos deterministas: a veces “divagamos”, cometemos errores o tenemos ideas absurdas. Una T alta puede emular esto en personajes de ficción o diálogos informales.

Conclusión: un valor de Temperature alto es una herramienta de *exploración* que, usada con cuidado, permite: romper la monotonía, generar ideas innovadoras y adaptarse a contextos “subjetivos”. La clave está en ajustarla según el objetivo y combinarla con técnicas como *top-k* o *top-p* para mantener coherencia.⁵¹ Usando una metáfora, podemos decir que el parámetro Temperature es como el “ají picante” en la comida: un poco añade sabor, demasiado arruina el plato.

¿Por qué el resultado suena “humano”?

La respuesta que obtenemos del sistema es el resultado del entrenamiento del mismo con billones de textos humanos (libros, artículos, conversaciones) más el sofisticado sistema de “atención”. El sistema “aprendió” o registró patrones lingüísticos, culturales y sociales para emular la naturalidad que se suele encontrar en la conversación humana.

Las limitaciones en sus respuestas vienen dadas por no sentir “emociones”, ni experimentar lo que en el haber humano está relacionado con el embodiment,⁵² ni “entender” lo que se le pregunta o

51. La coherencia exige eliminar palabras que sonarían muy “locas” para el contexto de la cadena de tokens. El muestreo top-k hace referencia a que el modelo en vez de trabajar con todas las palabras, escogerá las “*k*” palabras (por ejemplo *k* = 100 palabras) de mayor probabilidad. Para esto organiza las palabras de mayor a menor probabilidad, escoge las primeras *k* y selecciona aleatoriamente una de estas *k* palabras. El muestreo top-p es otro modo de reducir el número de tokens, en este caso no se fija un número máximo (*k*) sino que se fija un umbral entre 0 y 1 de probabilidades acumuladas. Como antes, se ordenan las palabras de mayor a menor probabilidad, y se toman las primeras cuya suma de probabilidades no supera el umbral. De este modo las palabras que serán tenidas en cuenta o “candidatas” serán aquellas cuyas probabilidades sumen esa probabilidad acumulada y por lo tanto serán las únicas tenidas en cuenta por el modelo al momento de generar la siguiente palabra.

52. Cf. *supra*: *Aparentemente inteligente* en las Conclusiones de este libro.

solicita, ni en “comprender” lo que responde. Solo imita respuestas basadas en datos, mediante matemática y probabilidad. Puede cometer errores si el contexto es ambiguo o la pregunta es muy atípica y puede caer en “sesgos” presentes en sus datos de entrenamiento (es decir, puede reforzar estereotipos presentes en esos datos⁵³).

§. *Ejemplo simple de las matemáticas empleadas para completar una frase*

Presentamos ahora un ejemplo un poco más completo (aunque muy simplificado) para comprender como opera la IA en un Chat. Vamos a simular cómo un modelo transformer autorregresivo genera una palabra para completar la frase “Jorge Luis Borges es un...”. A continuación el “paso a paso”:

✓. *Tokenización*

Primero, convierte la frase en tokens (unidades que el modelo entiende).

- “Jorge”, “Luis”, “Borges”, “es”, “un” → tokens [T1, T2, T3, T4, T5].

✓. *Embedding vectorial, codificación posicional, Transformer y capa lineal final de Transformer*

El modelo procesa la secuencia y genera un vector de logits para cada token *posible* del vocabulario candidato a cubrir el puesto

53. El sesgo (o *bias* en inglés), se refiere a la posible tendencia sistemática de los algoritmos de inteligencia artificial a mostrar expresiones injustas debido a datos sesgados utilizados en su entrenamiento, lo que puede resultar en expresiones discriminatorias o resultados inexactos en ciertas situaciones. Por ejemplo “mal pensar” que la profesión de enfermería es propia de lo femenino.

siguiente de la cadena. Esta candidatura es determinada en base al entrenamiento que la IA ha tenido:

Vocabulario relevante: [“escritor”, “poeta”, “genio”, “argentino”, “libro”, ...].

Logits generados (puntuajes en base al entrenamiento):

$$\mathbf{z} = [\text{escritor}:3.2, \text{poeta}:2.5, \text{genio}:1.8, \text{argentino}:1.5, \text{libro}:0.1, \dots]$$

Este es el vector de “respuesta probables” candidatas a “completar” la frase. El mismo es el que será ingresado a la función Softmax + Temperature.

✓. Aplicación de softmax + Temperature

Aplica ahora la función Softmax para convertir logits en probabilidades.

$$P(\text{palabra}_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^V e^{z_j}}$$

En esta fórmula i varía entre 1 y V siendo V el tamaño del vocabulario (en este ejemplo simplificado, usaremos las 5 palabras anteriores, pero tengamos en cuenta que son miles como hemos dicho). El parámetro Temperature tiene en la fórmula recién mostrada un valor $T = 1$.

Cálculo de los exponenciales de los logits:

- Escritor: $e^{3.2} \approx 24.53$,
- Poeta: $e^{2.5} \approx 12.18$,
- Genio: $e^{1.8} \approx 6.05$,
- Argentino: $e^{1.5} \approx 4.48$,
- Libro: $e^{0.1} \approx 1.10$.

Suma total (aproximada):

$$24.53 + 12.18 + 6.05 + 4.48 + 1.10 \approx 48.34$$

Cálculo de las probabilidades:

- $P(\text{escritor}) = \frac{24.53}{48.34} \approx 0.507$
- $P(\text{poeta}) = \frac{12.18}{48.34} \approx 0.252$
- $P(\text{genio}) = \frac{6.05}{48.34} \approx 0.125$
- $P(\text{argentino}) = \frac{4.48}{48.34} \approx 0.093$
- $P(\text{libro}) = \frac{1.10}{48.34} \approx 0.023$

✓. Muestreo (*sampling*)

Según las probabilidades obtenidas, el modelo elige la siguiente palabra en modo “estándar”, es decir con Temperature $T = 1$ (resultará una respuesta más bien “determinista”), elegirá “escritor” (opción de mayor probabilidad): “Jorge Luis Borges es un escritor”. En modo aún más “determinista”, con valores bajos de Temperature $T < 1$, la probabilidad de “escritor” se acentúa aún más por lo que el modelo seguiría eligiendo “escritor” para completar la frase. Con Temperature alta $T > 1$, podría elegir opciones menos probables por ejemplo: “poeta” o “genio” y con valores “muy altos” hasta podría elegir “libro” (o “Aleph” o “Tigre” si el vector de logits es más amplio).

Notas sobre la elección de la palabra siguiente de la cadena:

¿Cómo puede darse una opción errónea?: tengamos en cuenta que la pregunta de entrada o prompt podría forzar el exceso de creatividad dando lugar a un absurdo.⁵⁴ Por ejemplo si solicitamos: “como completarías la frase ‘Jorge Luis Borges es un...’ de modo creativo”, el programa mediante la función “Attention” del Transformer concentra su “atención” en la palabra de más peso que es “Borges”. A continuación, dirigido por ella, buscará en un contexto literario o cluster donde encontrará como respuestas posibles: “escritor”, pero también “libro”, “biblioteca”, “Aleph”, “Tigre”, “Arena”, “Babel”, “infinito”, “espejos”... Al usar un valor de Temperature alto

54. Cf. *supra*: Creatividad real vs. novedad regulada matemáticamente en las Conclusiones a este libro.

la “creatividad” (o el riesgo) aumenta, es decir, “escritor” y “libro” o “tigre” tendrán probabilidades “más cercanas” y chances de completar la cadena.

¿Por qué “escritor” es la opción más probable?: El modelo fue entrenado con textos donde la frase “Jorge Luis Borges es un escritor” aparece con alta frecuencia. Es decir, los patrones de entrenamiento le dicen que Borges es conocido “principalmente” como escritor.

§. Ejemplo más completo de las matemáticas empleadas para completar una frase

Proceso para generar logits (componente numéricos de los vectores)

Los logits son puntajes o “scores” numéricos inicialmente “brutos”⁵⁵ que el Transformer irá ajustando o enriqueciendo según el contexto y que genera para cada token posible en el vocabulario antes de aplicar Softmax. Representan la “confianza” del modelo sobre qué token debería seguir en la secuencia.

Paso 1: Tokenización (bloque ① en nuestro esquema inicial): por ejemplo la frase “Jorge Luis Borges es un” se divide en tokens como ya hemos visto ([“Jorge”, “Luis”, “Borges”, “es”, “un”]).

Paso 2: embedding vectorial (bloque ② en nuestro esquema inicial): cada token se convierte en un vector numérico (embedding) usando una matriz de embeddings preentrenada $\mathbf{W}$ que tiene dimensiones fijadas por la potencia del modelo $[d \times V]$ y el tamaño del vocabulario V .

Paso 3: Encoding posicional (bloque ③ en nuestro esquema inicial): se añade información sobre la posición de cada token en la

55. Por ejemplo con la aplicación “Word2Vec” se generan espacios semánticos.

secuencia (usando positional encoding), ya que el modelo necesita saber el orden relativo de las palabras.

Paso 4: Capas de Transformer (Atención y feed-forward) (bloque 4 en nuestro esquema inicial): el vector de cada token pasa por múltiples capas de self-attention y redes neuronales feed-forward (cf. Vaswani *et alii*, 2017). La self-attention permite que el modelo pondere la importancia de cada token anterior para predecir el siguiente. Por ejemplo, para predecir la palabra después de “un” en la cadena “Jorge Luis Borges es un...”, el modelo presta más atención a “Borges” que a “Luis” como ya observamos.

Paso 5: Última capa lineal (proyección al vocabulario) (bloque 5 en nuestro esquema inicial): después de las capas anteriores, el vector correspondiente al último token $\mathbf{h}_{\text{último}}$ se “pasa” por una capa lineal final, esto es, se multiplica por una matriz de “pesos” $\mathbf{W}$ —de dimensión $[d \times V]$ donde d es la dimensión del modelo ($d = 4096$ en GPT-3) y V el tamaño del vocabulario (para dar una idea $V \cong 50.000$)— y se suma el vector de sesgo $\mathbf{b}$ (frecuencia de aparición). Esta operación produce un vector $\mathbf{z}$ de tamaño V (por ejemplo 50.000 elementos) con los logits para cada token del vocabulario. Matemáticamente:

$$\mathbf{z} = \mathbf{h}_{\text{último}} \cdot \mathbf{W} + \mathbf{b}$$

En donde:

- $\mathbf{h}_{\text{último}}$: vector “oculto” del último token después de las capas de Transformer, dimensión: $[1 \times d]$, una fila por d columnas.
- $\mathbf{W}$: Matriz de pesos entrenada, dimensión: $[d \times V]$ (d filas por V columnas).⁵⁶

56. Esta matriz $\mathbf{W}$ tiene las siguientes propiedades: un número de columnas que coincide con el tamaño del vocabulario V (aproximadamente 50.000 palabras) y un número de filas que coincide con la riqueza semántica asignada a cada palabra del vocabulario (4096 en GPT-3), esto es, con el número de componentes d o logits asignado a cada palabra (o dimensión del modelo).

- El producto: $\mathbf{h}_{\text{último}} \cdot \mathbf{W}$, tiene dimensión $[1 \times V]$ (una fila por V columnas)
- $\mathbf{b}$: Vector de sesgo o bias, dimensión: $[1 \times V]$ (una fila por V columnas)
- $\mathbf{z}$: Vector de logits para todos los tokens, dimensión: $[1 \times V]$ (una fila por V columnas)
- $z_i = \mathbf{h}_{\text{último}} \cdot \mathbf{w}_i + b_i$ es el logit en la posición i , dimensión: $[1 \times 1]$ (es un número)
- $\mathbf{w}_i$ es un vector columna de $\mathbf{W}$, dimensión: $[d \times 1]$ (d filas por 1 columna)
- b_i es la componente i del vector de frecuencia o bias, dimensión: $[1 \times 1]$ (es un número)
- Nota sobre el entrenamiento de $\mathbf{W}$ y $\mathbf{b}$: después de millones de ejemplos, $\mathbf{W}$ y $\mathbf{b}$, se ajustan para que los logits altos correspondan a palabras probables en cada contexto y el bias $\mathbf{b}$ capture la frecuencia general de la palabra i .

Hay que observar que el producto $\mathbf{h}_{\text{último}} \cdot \mathbf{w}_i$ es un producto escalar entre vectores. El producto escalar está relacionado con el coseno del ángulo que forman los vectores, es decir, el cálculo del logit z_i es la suma de una cantidad proporcional al coseno del ángulo que forman los vectores (cf. *supra*: *Medición de similitudes semánticas entre vectores*) con un bias añadido. Esto equivalente a medir la “similitud coseno” entre el vector oculto $\mathbf{h}_{\text{último}}$ y el vector $\mathbf{w}_i$, con un bias b_i añadido.

Cada fila de la matriz $\mathbf{W}$ corresponde a un vector de embedding para una palabra del vocabulario en el espacio de salida, notemos que tiene dimensión $[1 \times V]$, siendo V el tamaño del vocabulario.

El logit para una palabra i se calcula: $z_i = \mathbf{h}_{\text{último}} \cdot \mathbf{w}_i + b_i$

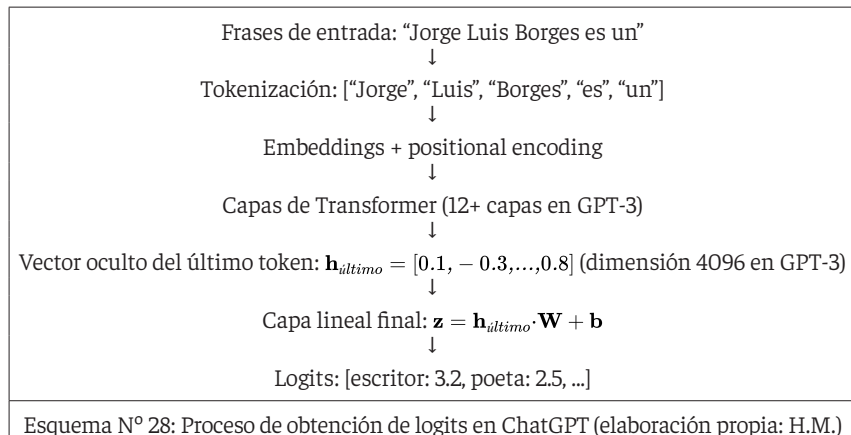
Ejemplo simplificado: supongamos que el vocabulario tiene 5 tokens relevantes para la frase “Jorge Luis Borges es un”: [“escritor”, “poeta”, “genio”, “argentino”, “libro”].

Después de procesar la secuencia “Jorge Luis Borges es un”, la capa final lineal mencionada ($\mathbf{z} = \mathbf{h}_{\text{último}} \cdot \mathbf{W} + \mathbf{b}$) produce logits como:

$$\mathbf{z} = [3.2, 2.5, 1.8, 1.5, 0.1]$$

Notemos que en el vector anterior el token “escritor” tiene el logit más elevado.

Visualización del proceso de obtención de logits:



Pasos finales

Paso 6: Softmax + Temperature (bloque 6 en nuestro esquema inicial): hemos advertido en el paso anterior que en el vector de logits de respuestas posibles, el logit correspondiente a “escritor” es el más alto, Softmax + Temperature generarán las probabilidades para estos logits. Matemáticamente la probabilidad más alta corresponderá a “escritor” (para valores estándar de Temperature).

Paso 7: Respuesta (bloque 7 en nuestro esquema inicial): “Jorge Luis Borges es un escritor...”

§. Entrenamiento de la matriz $\mathbf{W}$ y el vector $\mathbf{b}$

Durante el entrenamiento, el modelo ajusta $\mathbf{W}$ y $\mathbf{b}$ para maximizar la probabilidad del token correcto. Ya hemos mencionado

(cf. *supra*: *Transformer: Attention is all you need*) que el modelo se entrena (para ajustar sus parámetros) con retroalimentación humana (Human Feedback Reinforcement Learning o RLHF) para priorizar respuestas útiles, coherentes y naturales. Se usa cross-entropy loss⁵⁷ entre los logits obtenidos (tras Softmax) y el token “real” (es decir, el proporcionado por los datos del mundo real durante el entrenamiento). Recordemos que el modelo puede generar opciones incorrectas para un token y desvirtuar la cadena siguiente si el contexto es ambiguo o el modelo no fue expuesto a suficiente datos relevantes, en otras palabras, los logits pueden ser altos para tokens erróneos.

Siguiendo el proceso advertimos que la elección de la palabra que sigue a una cadena de palabras es una combinación de geometría en espacios de alta dimensión y estadística de lenguaje.

Como conclusión, la matriz **W** y el bias **b** se entrenan para mapear vectores ocultos semánticamente ricos a distribuciones de probabilidad sobre palabras. Los vectores ocultos capturan significado gracias al entrenamiento contextualizado y la arquitectura de atención.

57. La cross-entropy loss (función de pérdida de entropía cruzada) es una función matemática utilizada en el aprendizaje automático para medir el rendimiento de un modelo de clasificación. Se la utiliza para encontrar la solución óptima ajustando los “pesos” de un modelo de aprendizaje automático durante el entrenamiento. El objetivo es minimizar el error entre los resultados reales o del mundo real (supervisados por el entrenador humano) y los arrojados por el Transformer. Un valor de entropía cruzada más bajo indica un mejor rendimiento del sistema.

§. Conclusión del anexo

*La verdad es lo que es, y sigue siendo verdad
aunque se piense al revés*
Antonio Machado, “Proverbios y Cantares”

Lo analizado hasta aquí nos permite comprender que la IA manifestada por el GPT es una prodigiosa “danza” entre fuerza bruta y estadística (aplicadas a billones de textos) surgida al compás de la “música” provista por un muy “afinado” cálculo vectorial.

ÍNDICE DE ESQUEMAS Y FIGURAS

§. *Esquemas*

- Esquema N° 1: Ejemplos de metáforas, sus tipos y fisonomía conceptual lograda (elaboración propia: H.M.) 85
- Esquema N° 2: Representación de la metáfora estructuradora “las líneas de fuerza de un campo eléctrico son como líneas de un líquido en movimiento”. En la conceptualización aparece un paralelismo, una estructura común, la flecha indica el sentido del traslado desde lo familiar (elaboración propia: H.M.) 86
- Esquema N° 3: Representación de la metáfora conceptual “la carga positiva es una fuente” del campo eléctrico, desde el funcionamiento de “expulsar” líneas del mismo. La flecha indica el traslado metafórico desde el dominio fuente hacia el dominio meta (elaboración propia: H.M.) 87
- Esquema N° 4: Representación de la metáfora conceptual “la carga negativa es un sumidero” del campo eléctrico, desde el funcionamiento de “recibir o atraer” líneas del mismo. La flecha indica el traslado metafórico desde el dominio fuente hacia el dominio meta. (elaboración propia: H.M.) 88
- Esquema N° 5: Relaciones básicas en el organismo conceptual metafórico (elaboración propia: H.M.) 120
- Esquema N° 6: Metáfora y matemática revistiendo y dando inteligibilidad a los “hechos intrigantes”. Lectura desde abajo hacia arriba, sucesión: “Hechos intrigantes” (❶), “operaciones metafóricas iniciales en cadena” y “mapeado” del dominio meta (❷ y ❸), “revestimiento matemático de las metáforas mediante relaciones funcionales transportadas” (❹) y su “generalización” (❺) (elaboración propia: H.M.) 122
- Esquema N° 7: Funcionamiento del razonamiento abductivo (RESULTADO + REGLA= CASO). Ante el RESULTADO enigmático, la operación metafórica del “ver dos en uno” aporta la REGLA, que permite afirmar hipotéticamente “esos RESULTADOS son un CASO de esta REGLA”. En nuestro ejemplo: “esas líneas misteriosas son como líneas de corriente de un líquido imaginario” (elaboración propia: H.M.) 130

Esquema N° 8: Operación metafórica que viendo “dos en uno” —terceridad— une los hechos enigmáticos —primeridad— con un esquema inteligibilizador —segundidad— (elaboración propia: H.M.).....	133
Esquema N° 9: Signo triádico, propio de los funcionamientos mentales. El calificativo de inextricable (elemento 3) indica que no se puede reducir el modelo a tres diadas, Peirce habla de una “tríada genuina” (elaboración propia: H.M.).....	134
Esquema N° 10: Puntos de partida indubitables —sin metáforas— del conocimiento científico para el racionalismo cartesiano y para el positivismo lógico (elaboración propia: H.M.)	175
Esquema N° 11: Modelo de despliegue de lo que se esconde en la base empírica induble del positivismo (elaboración propia: H.M.).....	175
Esquema N° 12: Modelo de generación de hipótesis (elaboración propia: H.M.).....	178
Esquema N° 13: Los ídolos que entorpecen la actividad científica y su procedencia (elaboración propia: H.M.)	189
Esquema N° 14: Las 10 metáforas. Núcleo metafórico utilizado por Newton en <i>Principia</i> (en tono gris azulado) y sistema de metáforas marco que intervienen en la idea de su revestimiento matemático (en tono gris) (elaboración propia: H.M.).....	204
Esquema N° 15: Las 10 metáforas. Esquema de generación del sistema metafórico de conceptualización de <i>Principia</i> . En línea punteada se engloba el núcleo metafórico principal (elaboración propia: H.M.).....	207
Esquema N° 16: Estructura de los <i>Elementos</i> de Euclides (elaboración propia: H.M.).....	211
Esquema N° 17: Estructuración básica de los <i>Principia</i> de Newton (elaboración propia: H.M.).....	212
Esquema N° 18: Traslado hipotético abductivo desde el dominio fuente del artesano hacia el dominio meta de la realidad natural y humana en base a la hipótesis de atribuir a dicha realidad características de una obra que responde a un diseño inteligente como el que se da en el caso de la operación del artesano (elaboración propia: H.M.).....	508
Esquema N° 19: Metáfora del artesano, lectura platónica (elaboración propia: H. M.).....	543

Esquema N° 20: Metáforas que marcaron la relación matemática-universo (elaboración propia: H. M.).....	544
Esquema N° 21: Metáfora hídrica de Maxwell. (a) metáfora estructuradora inicial, (b) metáforas sustancializadoras que integran la estructura, (c) mapeado que surge de la matematización de Maxwell (elaboración propia: H.M.).....	569
Esquema N° 22: Los hechos intrigantes (bloques en color gris azulado, fase ❶) son inteligidos por una fase de mathesis (vía metafórica, bloques en color gris, fase ❷) y por otra fase de revestimiento matemático (bloques en color blanco, fase ❸). Las flechas en color gris claro ascendentes indican el sentido del proceso de mathesis sucesivas (elaboración propia: H.M.)....	572
Esquema N° 23: Modelo de vestimento metafórico y revestimiento matemático en base a la semiosis peirceana (basada en su signo triádico). Cada tríada supone un razonamiento abductivo “o de generación de hipótesis” (como lo designa Peirce), su “lógica” es la metafórica del ver dos en uno o del “silogismo de la hierba”. Se van obteniendo para los hechos enigmáticos interpretantes (conceptualizaciones) cada vez más desarrollados desde el punto de vista descriptivo y matemático (elaboración propia: H.M.).	575
Esquema N° 24: Metáforas en las primeras conceptualizaciones del movimiento y sus relaciones (elaboración propia: H.M.).....	648
Esquema N° 25: Fuerza de Bošković en función de la distancia. En D, cerca del “centro de fuerza” la Fuerza de Bošković aumenta mucho dándose el efecto de la impenetrabilidad. A partir de S se manifiesta la Fuerza en su forma de atracción gravitatoria newtoniana que decae hacia V con la inversa del cuadrado de la distancia. Entre D y S hay un interjuego alternado de atracciones y repulsiones (F, H, K, M, O, Q, S) que darían lugar a las uniones electroquímicas. (Figura de Bošković, 1922, p. 41; simplificada con fines didácticos por H.M., obra con derechos de autor expirados).....	689
Esquema N° 26: Mapeado de la metáfora hídrica de Maxwell que le permitió matematizar el dominio meta eléctrico en base a la matemática del dominio hidráulico, la flecha indica el sentido del traslado (elaboración propia: H.M.).....	699
Esquema N° 27: Arquitectura del ChatGPT (elaboración propia: H.M.).	707
Esquema N° 28: Proceso de obtención de logits en ChatGPT (elaboración propia: H.M.).....	732

§. Figuras

Figura N° 1: Metáfora del viento magnético (elaboración propia: H.M.)	56
Figura N° 2: Dirección del viento magnético. Torbellino de viento (Euler, 1822b, sin derechos). El polo Norte “sopla” y el polo Sur “aspira” (elaboración propia: H.M.). Visualización del viento (Faraday, 1855, sin derechos)	57
Figura N° 3: Repulsión y atracción según la metáfora del viento magnético. (Euler, 1822b, sin derechos más figuras de elaboración propia: H.M.)	59
Figura N° 4: Líneas de fuerza magnética. Visualización (elaboración propia: H.M.)	61
Figura N° 5: Líneas de fuerza magnética como bandas elásticas (DAAF, 1951, sin derechos; Faraday, 1855, sin derechos, más figuras de elaboración propia: H.M.)	64
Figura N° 6: Fusión de dos líneas que se cruzan en sentido contrario (elaboración propia: H.M.)	65
Figura N° 7: Líneas de fuerza eléctrica como fibras elásticas. Visualización mediante semillas en baño de aceite (elaboración propia: H.M.)	67
Figura N° 8: Partición de un imán y modelo de imán (Faraday, 1855, sin derechos más figuras de elaboración propia: H.M.)	70
Figura N° 9: Modelo de imantación del del hierro desde el modelo de bandas elásticas de Faraday (elaboración propia H.M.)	71
Figura N° 10: Fenómeno de reorientación de magnetos elementales por las líneas de fuerza magnéticas (elaboración propia: H.M.)	72
Figura N° 11: Líneas de fuerza magnética y eléctrica vistas como líneas de corriente de un líquido en movimiento (elaboración propia: H.M.)	78
Figura N° 12: Metáfora de la honda o boleadora (elaboración propia: H.M.)	200
Figura N° 13: Metáfora de la dilución de la gravedad, a semejanza de la dilución de la luz con la inversa del cuadrado de la distancia (elaboración propia: H.M.)	201
Figura N° 14: Visualización de la ley del inverso del cuadrado mediante la metáfora de la dilución de la luz al alejarnos de la fuente luminosa (elaboración propia: H.M.)	237

Figura N° 15: La dispersión de las partículas de pintura lanzadas mediante un aerosol es el mismo caso de la dilución de la luz (elaboración propia: H.M.).....	238
Figura N° 16: Representación de la dilución de la intensidad del campo gravitacional que rodea la Tierra a medida que nos alejamos del centro (elaboración propia: H.M.).....	239
Figura N° 17: Trayectorias de un proyectil lanzado paralelamente a la superficie de la tierra desde un punto situado en la cima de una montaña muy elevada (Ilustración de Newton, 1848; con derechos de autor expirados). .	243
Figura N° 18: Trayectoria parabólica de un proyectil con indicación de la caída (elaboración propia: H.M.) más indicación de la caída de la luna sobre la tierra (Ilustración adaptada —H.M.— de Newton, 1848; con derechos de autor expirados).....	244
Figura N° 19: Fenómeno de la inducción eléctrica (elaboración propia: H.M.).....	260
Figura N° 20: Representación del flujo del campo eléctrico a través de una superficie esférica que rodea a una carga (elaboración propia: H.M.).	280
Figura N° 21: Representación del flujo del campo eléctrico a través de una superficie de forma cúbica que rodea a una carga (elaboración propia: H.M.).....	281
Figura N° 22: Metáfora hídrica de Maxwell considerando algunas configuraciones de fuentes y sumideros (elaboración propia: H.M.).	282
Figura N° 23: Flujo del campo eléctrico producido por dos cargas de igual valor absoluto y distinto signo, a través de una superficie (elaboración propia: H.M.).....	282
Figura N° 24: Ley de Gauss para el campo magnético (elaboración propia: H.M.).....	286
Figura N° 25: Experimento de Faraday (elaboración propia: H.M.)	289
Figura N° 26: Experimento de Oersted (elaboración propia: H.M.)	292
Figura N° 27: Los pilares simétricos del campo electromagnético (elaboración propia: H.M. en base a Mörée, 2023)	296
Figura N° 28: Metáfora sobre el Árbol de la Ciencia de Descartes (elaboración propia: H.M.)	368

Figura N° 29: Metáfora hídrica que permitió interpretar la luz como un oleaje (Ilustración de Crowell, 2020; Attribution-Share Alike license)	405
Figura N° 30: Metáfora acuática del experimento de la doble ranura. (Ilustración de Crowell, 2006; Attribution-Share Alike license).	407
Figura N° 31: Dibujo original de Thomas Young mostrando los efectos de interferencia de ondas u olas que se superponen (Young & Kelland, n.d., con derechos expirados)	408
Figura N° 32: Intento de aislar un rayo de luz (elaboración propia: H.M.). . . .	411
Figura N° 33: Visualización cualitativa del principio de incertidumbre desde la metáfora acuática (elaboración propia: H.M.).	418
Figura N° 34: Ejemplo de geometrodinámica: el campo gravitatorio entendido desde la metáfora de la deformación de una superficie bidimensional (Ilustración de Ling, Sanny y Moebs, 2021; licencia de atribución internacional de Creative Commons 4.0 —CC BY 4.0—)	541
Figura N° 35: Experimento mental de Galileo con el cual determinó la Ley de Inercia o primera Ley de Newton (elaboración propia: H.M.).	656
Figura N° 36: Pares gravitacionales de acción y reacción (elaboración propia: H.M.).	658
Figura N° 37: La analogía de Huygens perfeccionada por Hooke para la fuerza de gravedad (elaboración propia: H.M.).	671
Figura N° 38: Analogía sobre el “martilleo” de la gravedad (elaboración propia).	672
Figura N° 39: Ilustración de las distintas trayectorias de una piedra arrojada desde la cima de una montaña muy elevada (ilustración de Newton, 1848, con derechos de autor expirados).	673
Figura N° 40: Actuación de la fuerza centrípeta sobre un cuerpo en movimiento, adaptación propia (H.M.) sobre la figura de Newton, 1848 (con derechos de autor expirados)	675
Figura N° 41: Visualización del principio de incertidumbre para dos indeterminaciones en la posición de “electrones” que atraviesan una rendija (elaboración propia: H. M.)	703

Analizo aquí la incidencia de la metáfora en el pensamiento de las mentes más brillantes que sentaron las bases de la ciencia moderna y contemporánea. Su presencia inocultable nos susurra que el pensamiento parece regirse por procesos metafóricos. De modo interdisciplinario fundamentamos aquí esta presencia un tanto oculta latiendo bajo los modelos lógico-matemáticos. Este latido metafórico recuperado, por un lado sugiere un proceso de inteligencia natural y por otro aporta fecundidad y vivacidad cognoscitiva a lo que usualmente es ofrecido en los libros de ciencia como reconstrucción artificial lógico-matemática. Concomitantemente, la metáfora como “inteligencia natural” plantea una distinción sustantiva respecto de la IA (en su estado actual), mientras que su revestimiento matemático por parte de la ciencia problematiza el nexo matemática-realidad.

Ofrezco aquí parte de las reflexiones y resultados generados durante la investigación realizada al respecto con ocasión de mi tesis de Maestría en la que observé la participación *sine qua non* de la metáfora como mecanismo de inteligencia, creación y comunicación tanto en la vida cotidiana como en las producciones basales de la ciencia moderna y contemporánea. Decidimos publicar en dos volúmenes de lectura independiente: el presente dedicado al surgimiento de la metáfora en la creación científica y otro dedicado al proceso de conocimiento creativo ubicuo de la metáfora.

Espero que el libro sea de provecho para docentes, investigadores, comunicadores y para los que gusten reflexionar sobre las oportunidades que abre la incidencia de la metáfora en los procesos cognitivos, creativos y comunicativos de nuestra vida diaria y científica.

