

[2016]

Informes Especiales

Entre la coyuntura, el futuro: energías renovables

Dedicación

Claridad
Expositiva

Calidad
Técnica

Exhaustividad



UNR Universidad
Nacional de Rosario



OBSERVATORIO
ECONÓMICO SOCIAL UNR



Entre la coyuntura, el futuro: energías renovables

Informes del Observatorio UNR N° 32

Informes Especiales N° 12 – noviembre de 2016

Autor/es:

- Luciano Andrés Jara Musuruana | luciano.jara@unr.edu.ar | <https://orcid.org/0000-0002-0203-180X>
- Germán Adolfo Tessmer | german.tessmer@unr.edu.ar | <https://orcid.org/0000-0002-3827-7027> | <https://germantessmer.github.io/>
- Patricio Hernán Almeida Gentile | patricio.almeida@unr.edu.ar | <https://orcid.org/0000-0002-0308-9165>

Responsabilidad editorial:

- Germán Adolfo Tessmer

- ISSN (serie Informes del Observatorio UNR): 2683-9067

- ISSN (sub-serie Informes Especiales): 2683-9083

- Palabras Clave: Energía, Energías renovables, Energía eólica, Energía solar, Cambio climático, Emisiones, Costos

- Clasificación JEL: Q20, Q42

Cómo citar: Jara Musuruana, L. A., Tessmer, G. A. y Almeida Gentile, P. H. (2016). Entre la coyuntura, el futuro: energías renovables (Informes del Observatorio UNR N.º 32; Serie Informes Especiales N.º 12). Observatorio Económico Social, Universidad Nacional de Rosario. <https://hdl.handle.net/2133/17539>

Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.



Universidad Nacional de Rosario (UNR)

- Rector: Héctor Floriani
- Vicerrector: Fabián Bicciré



Observatorio Económico Social | UNR

<https://unr.edu.ar/observatoriounr/>

ISSN (página web) 2683-8923

Córdoba 1814 - Rosario, Argentina (S2000AXD)

+54 9 341 4802620 / Interno 147

observatorioeconsocial@unr.edu.ar

Nota sobre esta versión

Esta es una versión revisada del informe publicado originalmente en noviembre de 2016. El contenido no fue modificado: los datos, el análisis y las conclusiones son los de la versión original, y la referencia bibliográfica del trabajo no cambia.

Los cambios son de forma, de enlaces y de metadatos: se agregó el bloque «Cómo citar» con la referencia normalizada y el enlace permanente; se completaron las propiedades del documento (título, autoría, palabras clave y códigos JEL); se explicitaron las autoridades de la Universidad correspondientes a la fecha del informe; se reordenaron los logotipos institucionales de la página de datos; se incorporó la página personal del autor en la línea de autoría; se reconstruyó la portada con el diseño de la serie; se restituyó la familia tipográfica institucional en todo el documento; se corrigió el encabezado de las páginas interiores; se actualizaron los números de página del índice; y se quitaron los hipervínculos a páginas que ya no existen, conservando el texto.

Revisión del 21 de septiembre de 2026, a cargo del Observatorio Económico Social (UNR).



Contenidos

Verde, que te quiero verde	3
Energías renovables en el mundo	3
¿Hacia un mundo cada vez más verde?	3
El desarrollo de las fuentes de energías renovables	10
¿Cuál ha sido la fuente de mayor desarrollo?	10
El desarrollo tecnológico y la reducción de costos	11
¿Dónde se desarrollaron en mayor medida las fuentes renovables?	13
Ejemplo de la energía eólica	13
Ejemplo de la energía solar	14
Finalmente, ¿dónde se desarrollaron en mayor medida las fuentes renovables?	15
¿Por qué es tan importante la tasa de interés?	16
Panorama actual	17
Situación en la Argentina	17
Situación global	17
1. Fijación de objetivos mínimos de compra de ER	18
2. Tarifas diferenciales (en general en combinación con el instrumento anterior)	18
Fundamentos para la aplicación de estas políticas	19
Conclusiones	20

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Emisiones de dióxido de carbono por energía consumida	4
Gráfico 2: Factor de conversión de energía final a emisiones de CO ₂ (2014). TCO ₂ /Mwh	5
Gráfico 3: Matriz de consumo de energía por región	6
Gráfico 4: Participación en el total de consumo energético	6
Gráfico 5: Participación en el total de consumo energético por fuente de generación	7
Gráfico 6: Millones de toneladas de CO ₂ emitidas	8
Gráfico 7: Millones de toneladas de CO ₂ emitidas por habitante	8
Gráfico 8: Evolución de consumo de energía eléctrica (kWh per cápita). Comparación de países	9
Gráfico 9: Energía consumida en el mundo según fuente de generación. En TWh	10
Gráfico 10: Costo de generación total por fuente	12
Gráfico 11: Velocidad de vientos a 80 metros de altura. En millas por hora.	14
Gráfico 12: Radiación solar en Watts por metro cuadrado	15
Gráfico 13: Consumo total por tipo de energía y por región	15
Gráfico 14: Consumo de energía eólica por país. Principales países. En Twh.	16

Índice de tablas

Tabla 1: Crecimiento promedio anual de emisiones de CO ₂ por década y proyección	9
Tabla 2: Equivalencias de medidas de potencia	11



Verde, que te quiero verde

Ya hace varias décadas que diversas asociaciones ambientalistas vienen levantando la voz en contra de las excesivas emisiones de dióxido de carbono y otros factores que aceleran del **calentamiento global**. Los peligros de este fenómeno han sido ampliamente explicados, pero hasta ahora poco se ha hecho a nivel mundial –y menos aún en Argentina– para evitar estos efectos. Sin embargo, algo parece estar cambiando.

En particular, uno de los reclamos de estas asociaciones, está relacionado a una mayor utilización de fuentes de energía renovables y no contaminantes, y a un menor uso de petróleo y combustibles líquidos. De hecho, si hiciéramos una encuesta al respecto, posiblemente la mayoría de los entrevistados coincidiría en que estas fuentes han ganado poca participación en los últimos años. Sin embargo, la realidad muestra que –en silencio– la energía eólica y solar están incrementando sensiblemente su participación en el total de la oferta eléctrica.

Dos características son los que ayudan a este fenómeno:

- La primera, es de **carácter social**. Tiene que ver con los beneficios que diversos países han otorgado a la investigación y desarrollo de estas fuentes, remunerándola con mayores precios y asignando cupos mínimos de participación de energía generada de esta forma en el total de las compras.
- La otra, es el gran **desarrollo** que han tenido estas tecnologías. Esto ha ocasionado que las mismas puedan –incluso– competir en precios con las plantas de generación térmica, hidráulica o nuclear. Si bien todavía siguen presentando un costo mayor, la diferencia de precios se ha acortado mucho; fenómeno que, combinado con otras ventajas que ofrecen estas fuentes, ha llevado a que muchos países opten por este tipo de plantas eléctricas a la hora de generar energía. Es decir, los motivos para impulsar las fuentes renovables de energía eléctrica ya no son solo ecológicos, sino también económicos.

En Argentina, lamentablemente, estamos muy lejos de eso. Sin embargo, y aparentemente, también aquí, algo ha comenzado a cambiar.

En esta edición, desde el [Observatorio Económico Social | UNR](#), hemos preparado un informe acerca del desarrollo de las fuentes de energía renovables. En la primera sección, se detallan los avances de estas fuentes a nivel mundial y los motivos de su crecimiento; mostrando cuales son las fuentes de generación más utilizadas a nivel mundial, qué recursos se necesitan para aprovecharlas y cuáles han sido las políticas utilizadas para impulsar las energías renovables, y como se justifican desde la teoría económica. Por otra parte, en la segunda sección, se explica el estado actual del sector en Argentina, los condicionantes que limitaron su crecimiento en las últimas décadas y sus perspectivas de desarrollo futuro.

Energías renovables en el mundo

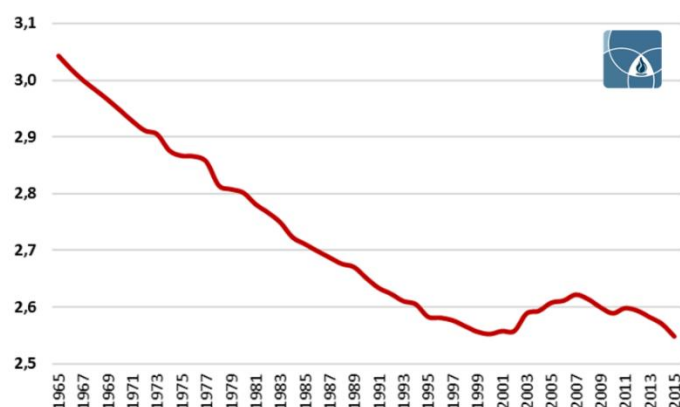
¿Hacia un mundo cada vez más verde?



La introducción de este trabajo parece dar bastante esperanza acerca de las posibilidades mundiales para reducir las emisiones de dióxido de carbono y combatir los efectos del calentamiento global. Pero ¿qué tan grande es este efecto? ¿Es posible realmente reducir la contaminación? ¿Lo estamos logrando? Adelantando las respuestas: bastante, sí y... no.

El **Gráfico 1** muestra la cantidad de dióxido de carbono emitido en relación a la energía consumida por la población humana. Como puede apreciarse, las mejoras tecnológicas han llevado a que las emisiones por cada tonelada equivalente de petróleo consumida, se reduzcan considerablemente. La tendencia a una mayor participación de las energías más limpias y la mejora en la eficiencia de las mismas, es lo que genera esta tendencia negativa.

Gráfico 1: Emisiones de dióxido de carbono por energía consumida
(Ton CO₂/Ton petróleo equivalente)



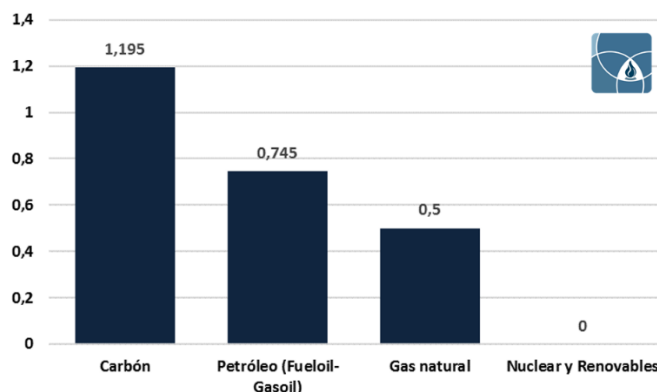
Debe destacarse, que fue entre los años 1960 y 1990, cuando aumentó la mayor participación del petróleo y el gas natural en la generación de energía, lo que llevó a esta mejora en la eficiencia. Sí, lo que se acaba de afirmar es correcto. Contra toda intuición, fueron el mayor uso del petróleo y del gas natural una de los factores que explicaron la disminución en la emisión de dióxido de carbono. ¿Por qué? Porque en dicho período se observa una fuerte merma en la participación del carbón como fuente de generación energética, el cual es proporcionalmente más contaminante que las otras fuentes utilizadas.

Al respecto, el **Gráfico 2**¹ muestra un promedio entre las cantidades de emisiones de CO₂ que resultan de la utilización de una fuente de energía primaria, es decir, energía disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada. De esta forma, por unidad comparable el carbón emite -en promedio- un 60,4% más de CO₂ que el petróleo y un 139% más que el gas natural.

¹ Para mayor información se puede consultar el siguiente informe: "Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España". Disponible en: http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/propuestas/Documents/2014_03_03_Factores_de_emision_CO2_y_Factores_de_paso_Efinal_Eprimaria_V.pdf



Gráfico 2: Factor de conversión de energía final a emisiones de CO₂ (2014). TC02/Mwh



Fuente: Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria (2014). Gobierno de España.

A pesar de esos números, a partir del año 2000, y hasta 2007, la tendencia mostrada en el **Gráfico 1** se revierte. Este hecho se explica –justamente– porque el carbón vuelve a ganar terreno como fuente de generación de energía. Así, de explicar un 25% del consumo en el año 2000, el carbón comienza incrementar su participación hasta alcanzar el 30% en 2010.

En términos generales, las consecuencias de altos niveles de emisión de CO₂ pueden agruparse en los siguientes problemas:

☠ **Efecto Invernadero:** Al formar una capa en la atmósfera, el dióxido de carbono atrapa la radiación a nivel del suelo. Dicha capa evita que la tierra se enfríe a la noche. Como resultado, se obtiene un calentamiento de las aguas del océano y, en términos generales, el fenómeno conocido como cambio climático.

☠ **Lluvia ácida:** Al combinarse el CO₂ originado por la quema de combustibles fósiles con la humedad del aire, se obtiene una precipitación con un alto contenido ácido. Como resultado, se genera un daño a la vida vegetal, que es justamente la encargada de procesar el CO₂ en oxígeno.

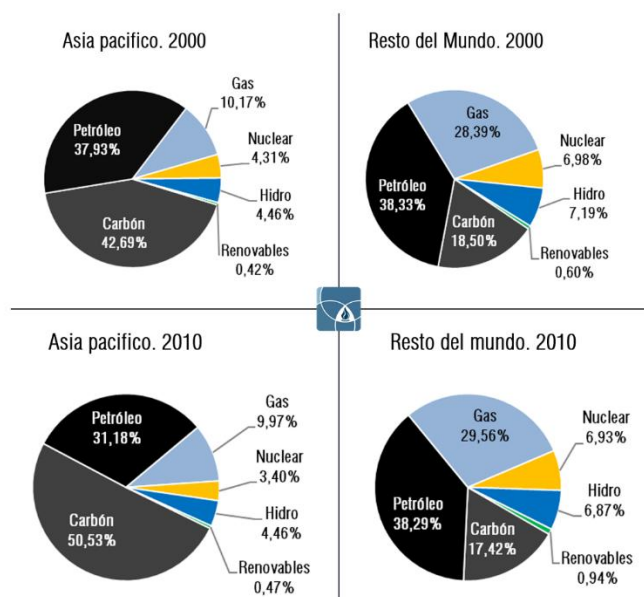
☠ **Impacto en la salud:** Este fenómeno se genera por el desplazamiento de oxígeno originado en mayores niveles de CO₂. Como resultado, se originan enfermedades relacionadas de forma directa a problemas respiratorios.

¿Cómo es que se volvió a utilizar una fuente tan contaminante? El motivo se explica por el gran crecimiento observado en los países de la región Asia-Pacífico. Como se muestra en el **Gráfico 3** y el **Gráfico 4**, esta región no solo ha incrementado sensiblemente la participación del carbón en su matriz energética, sino que a su vez ha ganado peso en el total de energía consumida a nivel mundial. Esto ha incrementado incluso más el peso de este combustible, dado que en esta región es utilizado en forma mucho más intensiva.



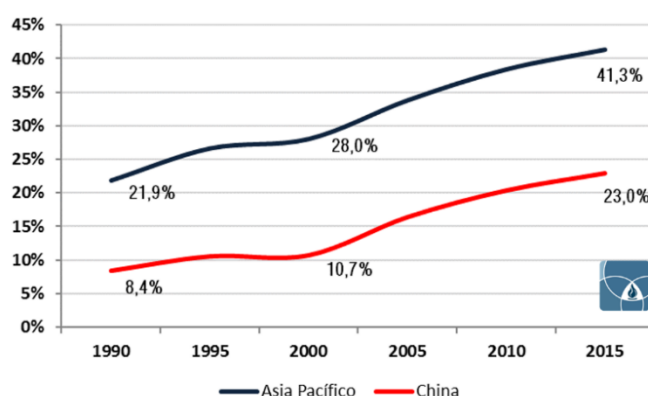
Ambas tendencias son explicadas por el crecimiento de **China**, que ha duplicado su participación en el consumo de energía mundial en los últimos quince años, pasando de un 11% a un 23%. Incluso en 2015, la participación del carbón en la matriz energética del país asiático es del 64%. Así, al crecer a una tasa sensiblemente superior al resto del mundo, impulsó la participación de este combustible en la generación energética.

Gráfico 3: Matriz de consumo de energía por región



Ahora, si bien China no ha dejado de ganar participación en la economía mundial, la cantidad de emisiones de CO₂ en relación al total de energía generada ha retomado su tendencia negativa en los últimos ocho años. Justamente, esto se debe al crecimiento de las fuentes renovables en la última década. Las mismas, han más que triplicado su participación en la generación de energía; pasando de un 0,8% en 2005, a un 2,7% en 2015.

Gráfico 4: Participación en el total de consumo energético

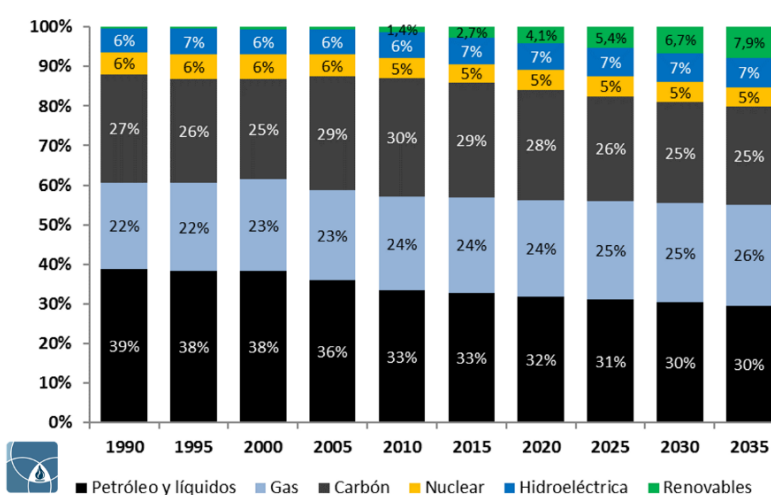




De esta forma, es el despegue de las **tecnologías renovables** lo que logró revertir la tendencia de principios de los 2000. Con su aplicación se ha logrado, no solamente frenar el aumento de la participación del carbón, sino también reducir el peso del petróleo y sus derivados; que pasaron de explicar un 38,2% del consumo total en 2000 a un 32,8% en 2015.

De acuerdo al anuario de [British Petroleum](#), las energías renovables podrían alcanzar a representar un 8% del consumo energético en 2035, es decir, se mantendría la tendencia de un aumento anual de 0,3 puntos en su participación por año a nivel mundial. Como se muestra en el **Gráfico 5**, las mismas irían tendencialmente reemplazando el consumo de petróleo y, en menor medida, carbón.

Gráfico 5: Participación en el total de consumo energético por fuente de generación



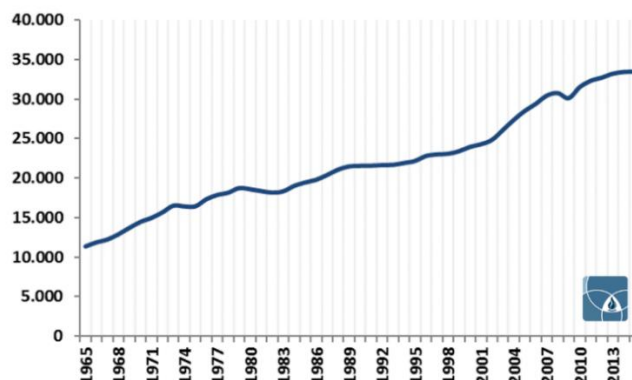
De esta forma, la mayor participación de energías renovables debería ayudar a reducir sensiblemente las emisiones de dióxido de carbono en relación a la energía consumida. Dicho de otra forma, la generación de energía seguirá volviéndose cada vez menos contaminante.

Si bien el impacto no es menor, ¿son estas acciones suficientes para frenar el calentamiento global? De acuerdo a los parámetros de emisión de CO₂ por fuente, mencionados al comienzo de esta sección; el cambio equivale a una reducción de entre 8% y 10% para la cantidad de energía generada. Por lo anterior, es necesario considerar otros factores. El **Gráfico 6**, muestra la evolución del total de emisiones de CO₂ a nivel mundial en las últimas décadas. Como puede observarse, lejos de reducirse, muestra una tendencia creciente.

¿Cómo es posible que las emisiones se incrementen a pesar de nuestra tendencia a incorporar energías más limpias? Muy sencillo. Si bien se ha reducido la contaminación para una cantidad de energía generada dada, el mundo cada vez consume más.

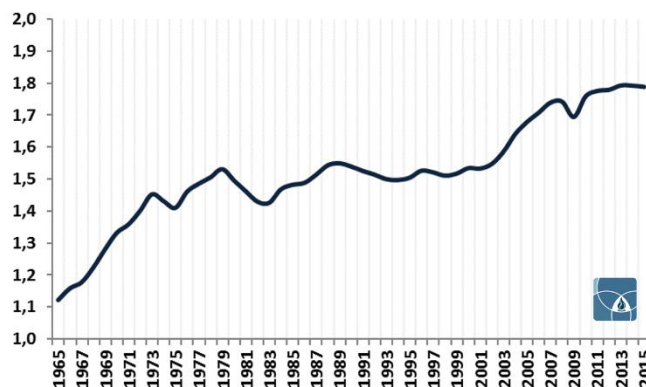


Gráfico 6: Millones de toneladas de CO2 emitidas



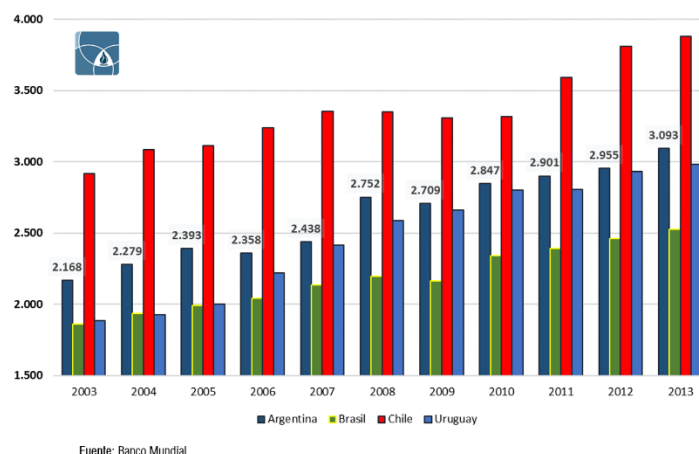
Aquí hay dos tendencias que es necesario separar. Una de ellas es el **crecimiento poblacional**, en gran medida inevitable. La otra es la **intensidad** de consumo de energía per cápita, que debería ser objeto de políticas tendientes a cuidar el medio ambiente. Al respecto, el **Gráfico 7** muestra que el consumo de energía por habitante ha mostrado una tendencia creciente en las últimas décadas. El crecimiento económico, tanto como el aumento en la cantidad de vehículos y de personas con acceso a la energía ha incrementado sensiblemente la intensidad de uso de energía.

Gráfico 7: Millones de toneladas de CO2 emitidas por habitante



Al respecto de esto último, el **Gráfico 8** la evolución del consumo *per cápita* de energía entre Argentina, Brasil, Chile y Uruguay. Si bien los niveles de consumo difieren entre países, todos muestran una tendencia creciente de consumo de energía, que parecen sostenerse incluso contra variaciones del ciclo económico. En efecto, el crecimiento para el período de referencia para la Argentina fue de un 42,70%, contra el promedio de 31,70% que exhibe América Latina y el Caribe; aunque muy por debajo de los que muestran Bolivia (59,58%) y Paraguay (75,46%) en la zona limítrofe de nuestro país, o el enorme crecimiento registrado por China de un 172,56%. Vale aclarar que este gráfico, que al mostrar datos *per cápita* no capta el crecimiento poblacional mencionado anteriormente.

Gráfico 8: Evolución de consumo de energía eléctrica (kWh per cápita). Comparación de países.



Para tener una medida del **impacto futuro** de este fenómeno, hagamos el siguiente ejercicio. Supongamos que la intensidad de uso de la energía por habitante continúa creciendo a la tasa observada en los últimos cinco años (muy inferior a la tasa histórica, por cierto). es decir, un 0,34% al año. Supongamos a su vez que, de acuerdo a las proyecciones de las Naciones Unidas, la población mundial se incrementa en un 21,4% hacia 2035. En su conjunto, ambas estimaciones indicarían un aumento de 30,0% en el consumo de energía.

De esta forma, combinando el crecimiento poblacional, el aumento en la intensidad de uso de energía y la tendencia hacia una mayor participación de fuentes de energía poco contaminantes; el resultado es que las emisiones de CO₂ se incrementarían aproximadamente un 17% en los próximos veinte años. Lo cual equivale a una tasa de crecimiento de 0,79% al año. Si bien se trata de un aumento relativamente menor en relación a décadas pasadas, lo cierto es que implica un escenario en que la contaminación seguiría aumentando.

Tabla 1: Crecimiento promedio anual de emisiones de CO₂ por década y proyección

	1970s	1980s	1990s	2000s	2010-15	2015-35
	2,54%	1,49%	1,06%	2,78%	0,61%	0,79%

En conclusión, si bien el gran desarrollo que las fuentes de energía renovables mostraron en los últimos años (y seguirían mostrando en el futuro) contribuirá sensiblemente a mitigar los efectos del cambio climático, estará lejos de detenerlo. Por el contrario, se proyecta que las emisiones de dióxido de carbono seguirán aumentando en los próximos años.

Por supuesto, el argumento no concluye aquí. En la actualidad existen posibilidades reales de revertir esta tendencia, pero para ello será necesaria la implementación de nuevas medidas de política. Es decir, el crecimiento proyectado para las fuentes renovables en el *statu quo*, no parece ser suficiente.

En particular, se puede trabajar en dos líneas de acción complementarias. Por un lado, incrementar los **incentivos** a la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables, a fin de aumentar su participación. Por otro, trabajar en medidas de **eficiencia energética**. Es decir, políticas para reducir el consumo de energía por habitante.



En las siguientes secciones se mostrarán que este tipo de medidas son perfectamente justificables desde la teoría económica, ya que no hacen más que corregir lo que usualmente se conoce como **externalidades**. Es decir, costos sociales asociados a la generación de un bien que no son incluidos en el precio del mismo, si se deja todo librado a las leyes de mercado. A su vez, se profundizará en la evolución de las energías renovables y el consumo per cápita de energía en los últimos años, haciendo foco tanto en el desarrollo de estas nuevas tecnologías como en las políticas aplicadas para incentivarlas.

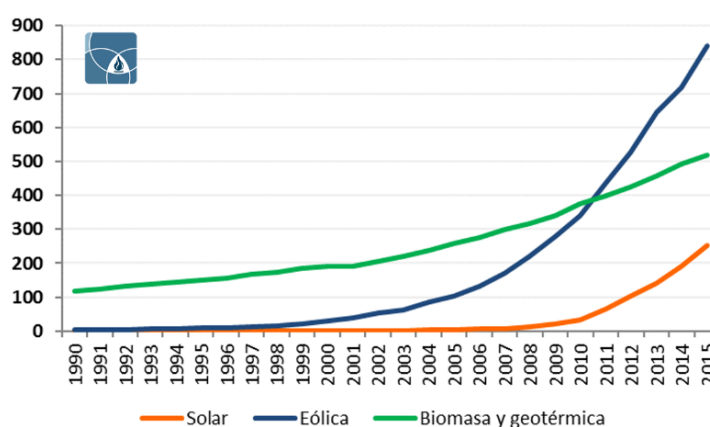
El desarrollo de las fuentes de energías renovables

En la última sección quedó claro que la participación de las energías renovables ha mostrado una tendencia creciente a nivel mundial en los últimos años. En este apartado se profundizará sobre ese punto.

¿Cuál ha sido la fuente de mayor desarrollo?

Un primer punto a tener en cuenta es que no todas las fuentes de generación de energía han avanzado de la misma manera. Dejemos afuera a la energía hidroeléctrica, que es -desde ya- la más importante de todas, pero que usualmente, y a diferencia de lo que se enseña en las escuelas, no es considerado como una fuente renovable de energía.

Gráfico 9: Energía consumida en el mundo según fuente de generación. En TWh.



Así, dentro del conjunto que nos ocupa, la de mayor avance -sin lugar a dudas- es la energía eólica. El **Gráfico 9** muestra un poco más de detalle al respecto: hacia 2015, la energía eólica representa aproximadamente un 52% del total generado mediante fuentes renovables; la solar un 16%; y la energía geotérmica, la biomasa y otras un 32%.



Tabla 2: Equivalencias de medidas de potencia

Unidad	Símbolo	Equivalencias
vatio o watt	W	
kilovatio	kW	1.000 x W
megavatio	MW	1.000 x kW
gigavatio	GW	1.000 x MW

El desarrollo tecnológico y la reducción de costos

El mayor desarrollo de la **energía eólica** con respecto a otras fuentes de generación tiene una explicación sencilla: sus costos de generación. Se trata de una fuente mucho menos costosa que la energía solar e incluso que la biomasa, lo que lleva a los países a optar mayormente por esta fuente a la hora de planear el desarrollo de su matriz energética.

Para ilustrar este punto, se recurre a la información proporcionada por la Agencia Internacional de Energías Renovables ([IRENA](#)). Cabe destacar que no existe un único costo de generación por fuente que pueda tomarse como referencia. El mismo dependerá de factores muy variables, como el tipo de instalación utilizada, las características de los vientos o la radiación solar, el costo de instalación y fabricación de los elementos (fundamentalmente mano de obra) y la tasa de interés. Es por eso que resulta habitual que los informes que calculan dichos costos muestren rangos de precios más que un valor medio.

El **Gráfico 10**, extraído del reporte de costos de energías renovables de IRENA (2014), muestra el costo de generación de distintas fuentes de energía. Cada círculo representa un proyecto distinto, y el tamaño de este depende de la capacidad total de generación del mismo. El centro de cada círculo se ubica en línea con el eje vertical en función al costo de generación estimado para el proyecto correspondiente.

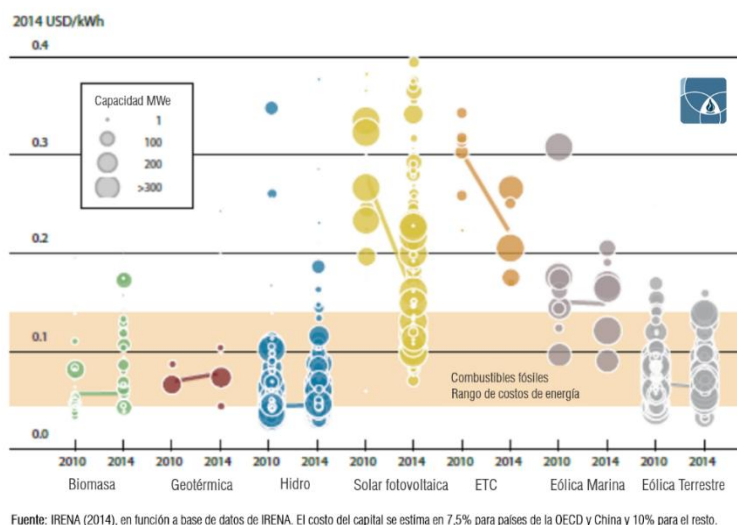
El gráfico permite apreciar claramente que la energía eólica es la menos costosa entre las energías renovables, con costos muy por debajo de la solar e incluso de la biomasa. Esta es la razón fundamental del éxito de esta fuente de generación por sobre las demás. Otro punto a destacar, y que es claramente visible en el **Gráfico 9**, es que tanto la energía eólica como la solar, destacan por mostrar un crecimiento exponencial en los últimos años.

Nuevamente, el motivo tiene que ver en gran medida con la evolución de los **costos de generación**, que no siempre se han ubicado en los niveles mostrados en el gráfico anterior. Por el contrario, apenas dos décadas atrás las energías renovables se encontraban en etapa experimental y los costos asociados a las mismas hacían imposible que compitieran contra otras fuentes a no ser que contaran con un fuerte subsidio estatal. Afortunadamente, las mismas recibieron el apoyo suficiente en proyectos de I+D, y con compras subsidiadas; por lo que pudieron transitar ya buena parte del costo de aprendizaje.

En Estados Unidos, por ejemplo, el costo de generación de los primeros parques eólicos instalados era de aproximadamente USD/Mwh 300 en 1984. Para 2005, el mismo se había reducido a USD/Mwh 55 (Wiser y Bolinger, 2011). Una tendencia similar ocurrió en Europa, con una merma de 40% en los costos entre 1987 y 2006, de acuerdo a IRENA. Entre 2005 y 2010, el incremento de la demanda en combinación con los mayores precios de los insumos (como el acero) llevó a un leve aumento de costos, pero en los últimos años los mismos parecen haber recuperado su tendencia negativa (aunque a un ritmo menor).



Gráfico 10: Costo de generación total por fuente



Varios han sido los avances tecnológicos que explican esta reducción. En primer lugar, se vislumbra una tendencia a un aumento en el diámetro de las turbinas. A mediados de los 90', las mismas promediaban los 50 metros y actualmente supera en muchos casos los 100 metros. Incluso la empresa productora de turbinas [Vestas](#), ha llegado a fabricar un modelo con un diámetro de 160 metros y una potencia de 8 MW.

El mayor diámetro de la turbina permite incrementar la potencia y la energía obtenida por cada generador, lo que ayuda a reducir los costos. A su vez, en el mundo se cuenta con una mayor variedad de diseños de turbinas que permiten adaptarse más eficientemente a los tipos de vientos de cada locación. Otras mejoras de importancia han sido la utilización de materiales más livianos y durables, como las fibras de carbono, y la inclusión de software que permite girar las aspas en función de la dirección del viento.

Los costos de la **energía solar** también muestran una tendencia negativa, que vienen de la mano de un cambio en los materiales utilizados y mayor eficiencia en su producción. Si bien en este caso los costos todavía se encuentran muy por encima del de otras fuentes por tratarse de una tecnología con un desarrollo más incipiente, los mismos vienen reduciéndose a un ritmo acelerado. Basta con mencionar que entre 2010 y 2015 únicamente los precios de venta de los paneles solares se han reducido a la mitad. Así, esta fuente tiene todavía un potencial muy superior de reducción de costos.

Adicionalmente, a medida que crece la utilización de este tipo de fuentes, la mayor producción permite aprovechar las importantes economías de escala que existen para la fabricación de este tipo de bienes; lo que todavía podría llevar a una reducción en los costos adicional, sobre todo en el caso de la energía solar.

De esta forma, el **avance tecnológico** ha tenido y seguirá teniendo mucho que ver con una mayor incorporación de las energías renovables. Apenas una o dos décadas atrás, la incorporación de la energía eólica o solar al sistema eléctrico de una nación se fundamentaba principalmente en cuestiones ambientales o con una decisión del gobierno de dicho país de fomentar el avance de esta tecnología. Hoy en día, de estas tecnologías prácticamente podrían competir por precio con fuentes tradicionales, especialmente en aquellos países que no tienen acceso al gas natural barato. Asimismo, todavía parece existir lugar para una mayor reducción de costos antes que estas tecnologías alcancen su etapa de madurez.



¿Dónde se desarrollaron en mayor medida las fuentes renovables?

¿Qué es lo que determina que las fuentes renovables proliferen en un país o en otro? Existe una variedad de factores que influyen en esa cuestión.

En primer lugar, se requieren recursos. Así como las reservas de petróleo y gas no se encuentran distribuidas en forma equitativa en los distintos países, tampoco ocurre lo mismo con el viento, el sol y las fuentes geotérmicas.

Los países más cercanos al ecuador reciben una mayor radiación solar y, por tanto, un mismo panel posee una mayor capacidad de generación en estas zonas. Algo similar ocurre con la energía eólica. En las regiones donde los vientos son más fuertes (o, quizás más importante aún, más constantes), un mismo aerogenerador podrá producir una mayor cantidad de energía.

La disponibilidad de tierra también influye. Ubicar un parque eólico, y -más aún- una granja solar, requiere de una gran cantidad de espacio disponible; lo que resulta una complicación adicional en zonas densamente pobladas. Es por ello que incluso hay países que han llegado a optar por ubicar aerogeneradores off-shore. Es decir, en plataformas marítimas, incluso cuando su instalación resulta mucho más costosa.

Cabe destacar que la diferencia entre la capacidad de generación entre una zona con recursos de gran calidad y otra es muy significativa. Para explicarlo, debemos detallar previamente un concepto que no será conocido para quienes no se encuentren familiarizados con las energías renovables: el **factor de carga**.

El factor de carga de un proyecto eléctrico es la cantidad de energía total que el mismo genera sobre su potencia o capacidad total de generación. Si bien el concepto aplica a todas las fuentes de energía, se vuelve especialmente relevante en el caso de las renovables, dado que ni el sol ni el viento se encuentra presentes las veinticuatro horas del día. Así, un parque solar no genera nueva energía de noche, y genera más energía al mediodía que al atardecer. Un parque eólico genera más o menos energía en función de la velocidad y frecuencia de los vientos.

Ejemplo de la energía eólica

Normalmente, cuando se realizan estimaciones de costos generales a nivel internacional, suele asumirse un factor de carga de entre 35% y 42%. Tomemos esos extremos como **dos escenarios** distintos y supongamos que se instalan 50 aerogeneradores con una potencia de 2 MWh cada uno, que en conjunto pueden generar 100 MWh en una hora, si funcionan a plena capacidad. Si pudieran operar siempre al 100%, estos parques generarían en total de 8,76 GWh en un año. Sin embargo, debido a la intermitencia de los vientos, en el primer escenario se generarían únicamente 3,07 GWh; mientras que en el otro, con un factor de carga mayor, se podrían generar unos 3,68 GWh. Como puede verse, incluso tomando dos casos representativos, la diferencia entre la producción de dos parques aparentemente iguales es de aproximadamente un 20%.

Asimismo, debe considerarse que las diferencias existentes en los factores de carga son aún mayores. Es posible encontrar parques con factores de carga en torno al 30% (aunque pocos, debido a que -en general- no son elegibles), mientras que en las mejores zonas del mundo los factores de carga pueden llegar a alcanzar el 50%.

Entre un extremo y el otro, esto implica un 66% más de generación eléctrica, y por lo tanto un 66% más de ingresos para el proyecto (al mismo precio).

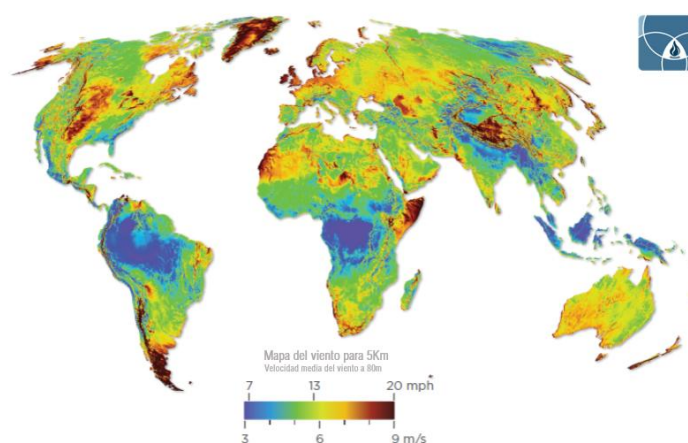
Si bien en general el desgaste es mucho mayor en zonas donde los vientos son más constantes, factor que reduce un poco la brecha de costos con lugares de menor intensidad; este fenómeno está lejos de compensar las discrepancias mencionadas anteriormente, dado que el costo de mantenimiento representa una proporción menor del costo total del proyecto.

En cuanto a la energía eólica, la mejor ubicación parece ser la **Patagonia Argentina**, aunque también existe lugar para el desarrollo de proyectos muy atractivos a lo largo de toda la cordillera de los Andes, en Gran Bretaña, zonas de EEUU, el sur de Oceanía y parte de China. A diferencia de la energía solar, que se concentra en torno a los trópicos, este recurso se encuentra más disperso.

La disponibilidad de recursos para la generación de fuentes renovables se encuentra ampliamente medida y puede consultarse con detalle en la página web de la *International Renewable Energy Agency* ([IRENA](http://www.irena.org)).

Al respecto, el **Gráfico 11** muestra las zonas de la Tierra con mayor capacidad para generar energía eólica (es decir, con mejores vientos). Los mismos, han sido extraídos de [Vaisala](http://www.vaisala.com), una compañía finlandesa, líder en mediciones climáticas. Como se señaló en párrafos anteriores, es notoria la potencialidad de la Patagonia en materia de explotación en energía eólica.

Gráfico 11: Velocidad de vientos a 80 metros de altura. En millas por hora.

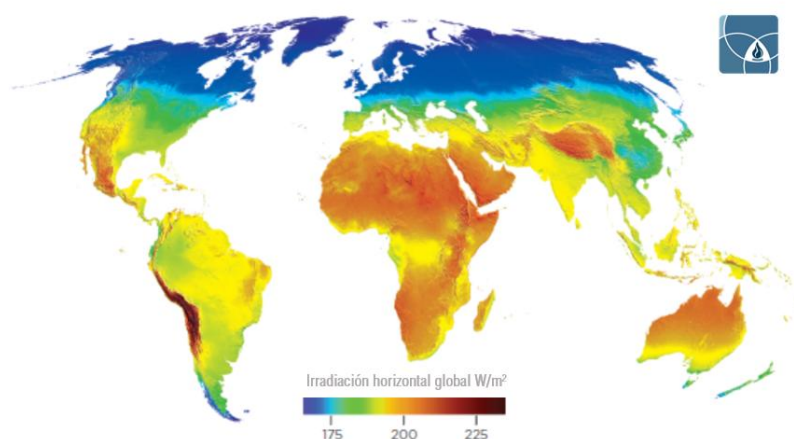


Ejemplo de la energía solar

Como se muestra en el **Gráfico 12**, los lugares de mayor radiación en el planeta se ubican en la zona central de la cordillera de los andes, ubicada en Perú, Bolivia, Ecuador y el norte de Argentina y Chile. En mayor extensión, el

norte de África también resulta una excelente zona para el aprovechamiento de la energía solar, al igual que gran parte del territorio de México, el sur de EEUU y el norte de Australia. En cambio, Europa, el norte de Asia y Canadá aparecen como las zonas menos favorables.

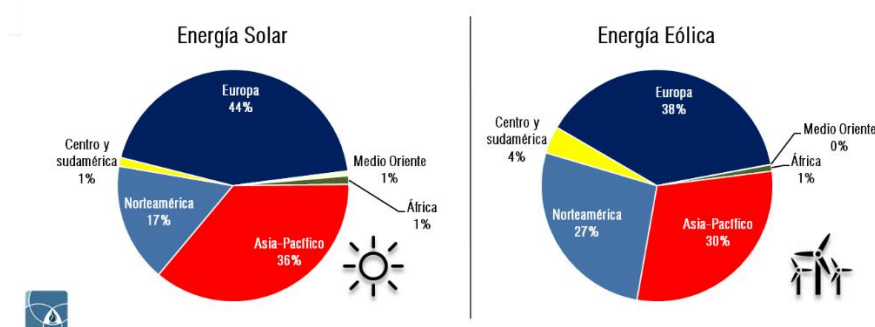
Gráfico 12: Radiación solar en Watts por metro cuadrado



Finalmente, ¿dónde se desarrollaron en mayor medida las fuentes renovables?

El apartado anterior, se ha mostrado la ubicación de las fuentes de energía renovables en el mundo, como así también algunas de las dificultades técnicas que suponen su uso. En esta sección se analizará si la disponibilidad de cada recurso coincide con las locaciones en que más se han desarrollado estas fuentes de energía. El resultado será un tanto decepcionante.

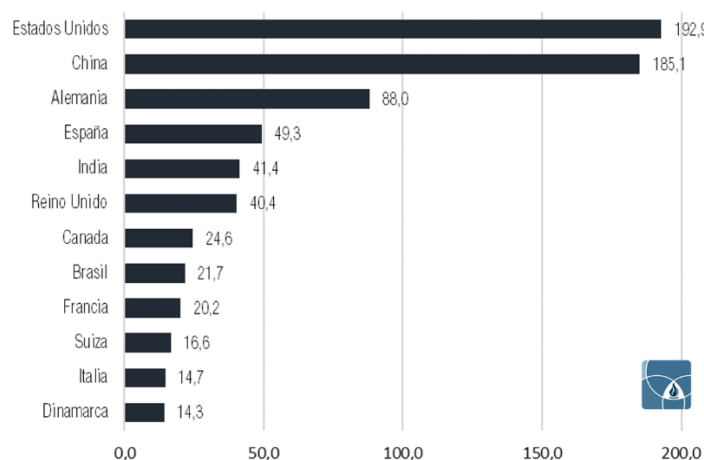
Gráfico 13: Consumo total por tipo de energía y por región



Como se observa en el **Gráfico 13**, Europa domina la producción de ambas fuentes de energía incluso cuando es uno de los continentes con menor presencia de dichos recursos. De hecho, si se examina la generación de energías renovables país por país aparecen nuevas sorpresas. Al respecto, el **Gráfico 14** muestra una selección de 12 países con presencia de proyectos de generación de energía eólica.



Gráfico 14: Consumo de energía eólica por país. Principales países. En Twh.



Si bien China y Estados Unidos poseen un importante recurso eólico (y a su vez una gran población), dentro de los países de mayor consumo se ubican dos que no han sido para nada favorecidos en el reparto de vientos: España y Alemania. ¿Qué ocurre en Argentina? Totalmente fuera de la tabla: a pesar de contar con la mejor región del mundo para el aprovechamiento eólico, genera apenas 0,7 Twh al año.

Por tanto, se puede concluir que la disponibilidad de recursos, si bien importante, no ha sido el factor más determinante para el crecimiento de estas fuentes de energía. Por el contrario, hay dos variables adicionales que han mostrado ser mucho más relevantes para el desarrollo de estas fuentes: **la tasa de interés** y **el apoyo estatal**.

¿Por qué es tan importante la tasa de interés?

Cerca del 90% del costo de generación en energías renovables se relaciona al recupero de la inversión inicial. Un parque eólico o solar requiere una inversión de USD 2 millones aproximadamente por cada MW de potencia instalado, aunque una vez en funcionamiento reducirá los gastos al mínimo, dado que no consume combustible alguno. Una central térmica, en cambio, requiere abastecerse de gas natural o combustibles líquidos, lo que encarece su funcionamiento. No obstante, la inversión inicial suele rondar entre USD 1 millón y USD 1,5 millones por MW instalado (asimismo, puede funcionar con un factor de carga mucho mayor).

Estas características llevan a que el costo relativo de las energías renovables, con respecto a las fuentes de generación tradicionales dependan de dos variables fundamentales: el **precio de los combustibles** y la tasa de interés. Cuando el precio del petróleo y el gas natural se incrementan, las fuentes térmicas se hacen más caras, beneficiando a las renovables.

Por el contrario, una mayor tasa de interés lleva a que se encarezcan estas últimas, dado que el capital que es necesario obtener para generar la misma cantidad de energía es mucho mayor. De acuerdo a declaraciones de Luis Rotaache, coordinador de energías no convencionales del Instituto Argentino de Energía ([IAE](#)), un aumento de 1 punto porcentual en la tasa de interés, encarece en 7 USD/Mwh el costo de generación de un proyecto.



Panorama actual

Situación en la Argentina

En el año 2009, se lanzó el programa [GENREN](#), con el objetivo de incorporar 1 GW de potencia eléctrica con energías renovables. Se trató de una licitación abierta para este tipo de fuentes, que garantizaba contratos de quince años con precios estables, y muy por encima del valor de mercado de la energía. A los proyectos de energía eólica se les otorgó un precio promedio de 127 USD/Mwh, en tanto los de energía solar recibirían en promedio 517 USD/Mwh.

No obstante, a pesar de este atractivo menos del 10% de los proyectos terminaron concretándose. La causa del fracaso, radicó en la imposibilidad de obtener financiamiento debido a las dudas que existían acerca de la capacidad de pago de [CAMMESA](#), quién era el único comprador en el esquema diseñado.

Un **monopsonio** es un tipo de estructura de mercado en el que para un bien existe un único comprador; a diferencia de una estructura de monopolio, en donde existe un único vendedor. Para el caso del monopsonio, el precio del bien o servicio en cuestión, es determinado por el demandante; ya que, por su posición única, posee mayor poder de mercado. En consecuencia, los oferentes (con la excepción de la presencia de una empresa monopólica) terminan adaptándose a sus exigencias.

Situación global

El resultado es que aquellos países en los que el **acceso al financiamiento** es más barato y fácil de obtener cuentan con una importante ventaja fundamental para el desarrollo de las fuentes de energía renovables. Este es otro factor que explica que sean los países desarrollados aquellos en los que están fuentes se encuentran mejor aprovechadas. Por ejemplo, de acuerdo al Banco Mundial, en Alemania, el crédito al sector privado equivale (tomando el promedio 2010-15) al 83% del PIB; en España al 147%; y en Estados Unidos al 187%. En Argentina, la ratio apenas alcanza el 14%.

Pero hay otra variable fundamental, de relevancia crucial durante el desarrollo de estas tecnologías y que todavía sigue jugando un papel importante: el **apoyo estatal**. Hasta ahora, prácticamente todos los países que han desarrollado un mercado relevante de energías renovables, han contado con cierto apoyo estatal, ya sea mediante subsidios, precios diferenciales, cuotas de participación de estas tecnologías en la generación total, o programas de estímulo a la investigación y desarrollo. Actualmente, casi todos los países del mundo aplican algún programa de estímulo, aunque en muy diferente medida.

Las principales medidas utilizadas para incrementar la participación de las energías renovables en la matriz energética de un país pueden clasificarse en dos grandes grupos:



- Fijación de objetivos mínimos de compra de energías renovables.
- Tarifas diferenciales.

1. Fijación de objetivos mínimos de compra de ER

Este tipo de medidas han sido combinadas con la fijación de objetivos de penetración de energías renovables en la matriz eléctrica. Así, usualmente los distintos países han planificado el ritmo de expansión de estas fuentes (lo que otorga previsibilidad a los inversores), utilizando el instrumento de objetivos mínimos para lograr el cumplimiento de sus metas. Tal es así que, a fines de 2015, 175 países fijaban objetivos de penetración de energías renovables.

2. Tarifas diferenciales (en general en combinación con el instrumento anterior)

Las tarifas diferenciales han sido el instrumento más popular hasta ahora, siendo la principal medida aplicada en algunos de los países más exitosos en el desarrollo de las ER, como España, Alemania y Dinamarca. De acuerdo a [REN21](#), a fines de 2015 eran 75 los países que aplicaban este tipo de medidas. Las mismas suelen aplicarse mediante un subsidio a dichas fuentes, el que generalmente se trasladada a los consumidores.

Bajo este mecanismo, se obliga a las distribuidoras a incorporar un **mínimo** de energías renovables, pagando una tarifa superior al promedio que pagan por el resto de las tecnologías. También se encuentran casos en los que, por el contrario, se aplica un impuesto mayor a las fuentes de energía más contaminantes. En este caso, el tributo incrementa el precio de las energías competidoras (y por ende del total del sistema), permitiendo a las energías renovables competir a un precio mayor. El resultado final es similar, dado que termina generando un mayor precio de la energía y un mayor desarrollo de las renovables.

En otros países, simplemente se especifica un mínimo de participación de estas fuentes en las compras de grandes usuarios o distribuidoras eléctricas. Así, lo que se hace es separar la competencia de las fuentes renovables respecto de otras formas de generación. Para este caso, la competencia de precio es entre las energías renovables. Este sistema ha sido utilizado principalmente en el Reino Unido o Francia. La experiencia internacional indica que ha generado menores costos de adquisición de energía, pero también ha sido menos exitosa para el desarrollo.

A su vez, los países que actualmente son líderes no solamente en el consumo de energías renovables, sino también en la fabricación de bienes para esta industria, han combinado estas medidas con **políticas de desarrollo industrial** junto a este tipo de medidas. Muchos países han establecido requisitos mínimos de contenido nacional en los nuevos proyectos de energías renovables, o han aplicado incentivos tributarios a la compra de tecnología nacional. Al mismo tiempo, se han impulsado cuantiosos programas de Investigación y Desarrollo (tanto desde el ámbito público, como favoreciendo la inversión privada) para este tipo de tecnologías.



Fundamentos para la aplicación de estas políticas

El primer fundamento, es la **cuestión ambiental**. La producción de energía mediante fuentes contaminantes genera una externalidad negativa (la emisión de gases nocivos para la salud), que es tenida en cuenta en el precio. En términos agregados, la sociedad en su conjunto debería estar dispuesta a pagar más por energías limpias. Sin embargo, un comprador individual no tiene incentivos a asumir la totalidad de este costo.

Al respecto, tanto la agencia de protección ambiental de Estados Unidos, como la UE a través de su programa [Extern-E](#), han tratado de medir económicamente este impacto considerando principalmente el efecto en la salud de la población y el cambio climático. El resultado es que, para las tecnologías del año 2010, la externalidad negativa era valuada en más de 30 Euros por Mwh para las plantas de carbón, unos 10 euros para las plantas de gas, y apenas entre 1 y 3 euros para las fuentes renovables (la energía solar es la que presenta la mayor externalidad negativa dado que requiere un gran consumo de energía para la construcción de los paneles).

En segundo lugar, la **diversificación de la matriz energética** es deseable *per se*, especialmente teniendo en cuenta que los combustibles fósiles son de disponibilidad limitada. Una matriz energética concentrada únicamente en estas fuentes llevaría a un agotamiento más acelerado de estos recursos. Esto generaba gran preocupación hasta hace algunas décadas, pero el desarrollo de las modernas técnicas de *fracking* ha hecho posible la extracción de recursos de petróleo y gas no convencionales, incrementando sensiblemente las reservas mundiales de hidrocarburos.

Por último, pero no menos importante, no debe olvidarse que las energías renovables son todavía una tecnología de desarrollo incipiente en todo el mundo (aunque en algunos casos acercándose a la madurez). En la actualidad, si bien el costo de producción puede ser superior al de las fuentes tradicionales, nada indica que no puedan transformarse en las fuentes de generación más eficientes en el futuro. Sin embargo, si no se les hubiera dado un impulso inicial, probablemente habría sido muy difícil que las mismas se desarrollaran.

A su vez, los países que desarrollen la tecnología, también tendrán una ventaja para la fabricación de los bienes necesarios para la instalación de los nuevos parques eléctricos, lo que puede traducirse en grandes beneficios para su economía, lo que conlleva a la generación de empleo de gran valor agregado.

Así, como ya se ha mencionado en este artículo, si bien la dotación inicial de recursos juega un papel importante a la hora de determinar los costos de un proyecto, los países que más han desarrollado estas fuentes de generación han sido aquellos que han dado un mayor impulso a la inversión. Este impulso se encuentra ampliamente fundamentado tanto por razones ambientales como económicas. Las condiciones macroeconómicas, que influyen en el desarrollo del sector financiero, son también una variable de gran relevancia, por lo que no sorprende que sean los países con mayor grado de desarrollo los pioneros en la incorporación de **tecnologías verdes**.



Conclusiones

El presente trabajo ha examinado las principales tendencias mundiales en cuanto al desarrollo de las energías renovables. El mismo resulta un resumen general de las principales características de las nuevas tecnologías, su evolución reciente y las variables que influyen en su crecimiento. Del mismo, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- La generación de energía es cada vez menos contaminante en el mundo, tanto por una mejora en la eficiencia, como por la tendencia a reemplazar fuentes más contaminantes (como ser el carbón) por otras que generan menores emisiones.
- No obstante, dado que la población mundial y el consumo per cápita de energía continúan al alza, las emisiones globales de CO₂ mantienen una tendencia positiva. Así, se requieren mayores esfuerzos en materia ambiental para frenar los impactos negativos del cambio climático.
- Al respecto, ha sido -y seguirá siendo- muy relevante el desarrollo de las nuevas fuentes de energías renovables; principalmente la eólica y, en menor medida, la geotérmica y solar.
- En los últimos años, se ha reducido sensiblemente el costo de estas tecnologías, por lo que en la actualidad podrían hasta competir con las fuentes tradicionales, especialmente en aquellos países que no cuenten con recursos de gas natural.
- Pero esto no hubiera sido posible sin la aplicación de políticas que favorezcan su desarrollo. Los países en los que las tecnologías verdes tuvieron una mayor penetración, han sido los que han aplicado políticas más agresivas.
- Existen sobrados motivos para continuar favoreciendo estas nuevas fuentes de generación, no solamente por las externalidades negativas generadas por la contaminación en el caso de los combustibles fósiles, sino también por las perspectivas de una mayor reducción de costos en el futuro.
- Existen países, como Argentina, que están dotados de recursos especialmente favorables para el desarrollo de energías renovables y en los que se podría avanzar sensiblemente en los próximos años. No obstante, será clave la aplicación de políticas de estímulo y un mayor desarrollo de los mercados de crédito para financiar los importantes requerimientos de capital de estos proyectos.