



**UNR** Universidad  
Nacional de Rosario

**Especialización en Gestión de la Innovación y la  
Vinculación Tecnológica**

Centro de Estudios Interdisciplinarios

Universidad Nacional de Rosario

**Información climática en los Bajos Submeridionales  
como aporte a la toma de decisión**

Autora: Lic. María de los Milagros Skansi

Directora: Dra. Gabriela Müller

Abril 2025

## **Resumen**

Este trabajo plantea una primera etapa en la construcción de un sistema de información climática para la Región Hídrica de los Bajos Submeridionales (RHBS), con el objetivo de fortalecer los servicios climáticos a escala local. La elección de esta región se basa en su alta vulnerabilidad a la variabilidad climática, y su localización en una zona con limitaciones en la cobertura observacional, lo que refuerza la necesidad de mejorar las capacidades para el diagnóstico y monitoreo climático.

El enfoque se centra en mejorar los primeros eslabones de la cadena de producción del Servicio Meteorológico Nacional (SMN): datos, diagnóstico, monitoreo y predicción. A partir del relevamiento y la integración de nuevas fuentes de datos in situ, y su complementariedad con otros datos, como los provenientes de sensores remotos, se propone consolidar y adaptar productos de monitoreo existentes, así como diseñar herramientas que integren información climática actual, histórica y futura para la toma de decisiones. El plan de trabajo contempla una secuencia de actividades orientadas a mejorar la representación, la calidad de la información y su aplicabilidad local. Esta iniciativa busca aportar a una provisión de servicios climáticos más pertinentes, accesibles y sostenibles para los actores locales.

## Indice

1. Introducción	1
2. Justificación	3
3. Planteo del problema	8
4. Relevamiento de antecedentes	9
5. Objetivos	13
6. Aspectos teóricos	14
6.1. Servicios climáticos	14
6.2. Sistemas de gestión de datos climáticos	19
6.3. Predicción climática	20
7. Reseña situación actual	22
7.1. Estado actual de las observaciones meteorológicas in situ	22
7.1.1. Cobertura y limitaciones de la red de observación del SMN	22
7.1.2. Gestión de los datos meteorológicos	27
7.2 Información climática caracterización	30
7.3. Información climática monitoreo	33
7.4. Pronóstico climático trimestral	36
8. Aspectos metodológicos	37
9. Plan de trabajo: actividades y cronograma	40
10. Conclusiones	46
11. Referencias	47

## **1. Introducción**

La variabilidad y el cambio climático tienen impactos en diferentes sectores socioeconómicos, pudiendo generar pérdidas y/o daños, como también ganancias. En 2009 se estableció el Marco Mundial de Servicios Climáticos (MMSC) que pone de manifiesto la importancia de contar con información climática adaptada a diferentes sectores, con el objetivo principal de permitir una mejor gestión de los riesgos vinculados a la variabilidad del clima y el cambio climático (OMM, 2011, 2014a).

El desarrollo, elaboración y publicación de un servicio climático implica diferentes pasos y una interacción y realimentación con los usuarios (OMM 2011). Los primeros eslabones de la cadena de producción abarcan las observaciones, monitoreo y predicción.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) sostiene el monitoreo del clima en Argentina principalmente a partir de los datos obtenidos de su propia red de observación. Para algunos análisis que no requieren una actualización continua de datos, se integran observaciones de otras redes de observación provenientes de instituciones nacionales o provinciales. Asimismo, se incorporan datos provenientes de sensores remotos y en menor medida de reanálisis.

Con respecto a los pronósticos climáticos, se proveen pronósticos trimestrales de precipitación y temperatura media. Para la elaboración de estos pronósticos oficiales se cuenta con pronósticos propios y con otros elaborados por centros mundiales de pronósticos y centros regionales del clima, que se evalúan mes a mes. Asimismo, se considera el conocimiento de la variabilidad climática interanual a partir de investigaciones y/o análisis propios, como estadísticas asociadas a las fases del fenómeno de El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) y del dipolo del océano Indico.

En vistas a mejorar la prestación de servicios climáticos el SMN ha ido desarrollando e implementando diferentes productos climáticos para informar a distintos sectores sensibles al clima y a la sociedad. De forma rutinaria se elaboran diversos reportes y productos climáticos que mayormente se publican en su sitio web ([www.smn.gob.ar](http://www.smn.gob.ar)) y redes sociales.

Si bien la información climática alcanza a todo el país, cuando se abordan problemáticas a escala local o regional es necesario adaptar y/o complementar dicha información. Del mismo modo, y especialmente ante situaciones extremas como periodos de sequias, se requiere la elaboración de informes especiales que integren aspectos claves de la situación actual y futura del clima.

La diversidad de climas y características geográficas y socioeconómicas de Argentina requiere diversos abordajes al momento de definir la información climática, atendiendo a las limitaciones de datos que se presenta en cada región. Para ello se requiere explorar y acceder a más datos y herramientas que permitan dar respuesta de manera ágil y sostenida a diversos requerimientos.

El desafío de promover la innovación, la mejora continua y la incorporación de nuevas tecnologías para mejorar las capacidades del SMN, en vistas de potenciar y fortalecer los servicios a la sociedad, se evidencian en su visión y metas plasmadas en sus dos últimos planes estratégicos. El último plan 2024/27 establece como visión “Aspiramos a constituir un SMN en la vanguardia científico-técnica, referente en la toma de decisiones de una sociedad que enfrenta los desafíos ambientales y del cambio climático, y que esté al servicio de los sectores productivos en cada región del país”. Para el logro de su misión y reflejar la visión en resultados, se identificaron como guía los siguientes valores: calidad, liderazgo, compromiso, comunidad e innovación (SMN 2024).

Las metas que agrupan los objetivos estratégicos se establecieron en cuatro: infraestructura, servicios, ciencia y fortalecimiento institucional. En cuanto a ciencia se establece “Orientar los desarrollos técnico-científicos teniendo en cuenta las necesidades de los usuarios, el estado del arte de la ciencia y sus condiciones de sostenibilidad”. Por otra parte, en la meta de servicios se indica “Consolidar la estrategia de provisión de información y prestación de servicios orientados a las necesidades de los usuarios, para la reducción del riesgo de desastres y el desarrollo económico y social del país, en el contexto de adaptación al cambio climático.” (SMN 2024).

Se requiere sistematizar, adaptar y ampliar la información climática elaborada y publicada por el SMN a fin de aportar a la construcción de un sistema de información climática a escala local. La información climática será un insumo para la prestación de servicios climáticos que atiendan problemáticas locales.

En este trabajo se plantea contribuir a la construcción de un sistema de información climática que pueda apoyar la toma de decisiones informadas en la Región Hídrica de los Bajos Submeridionales (RHBS). Para ello es necesario disponer de un sistema de monitoreo de las condiciones prevalentes, así como de un sistema de diagnóstico basado en el conocimiento existente y en el que resulte necesario generar a partir de investigaciones a nivel regional. A estos elementos, basados en información del periodo histórico y del presente, se suma el conocimiento del periodo futuro mediante un sistema de pronóstico ajustado a la región.

## **2. Justificación**

Los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos están siendo más frecuentes e intensos. Año tras año diversas regiones del país se ven afectadas por sequías, olas de

calor, lluvias intensas, entre otros eventos extremos. Entre 2019 y 2023, una sequía extrema afectó gran parte del territorio ocasionando diversos daños y pérdidas. Se produjo una bajante histórica del río Paraná con impactos en las comunidades, ecosistemas y diferentes actividades socioeconómicas (Naumann et al., 2022; Naumann et al 2023; Mazzon y Rafaeli, 2023; OMM, 2024; Skansi et al, 2023).

Temperaturas altas extremas fueron recurrentes en los últimos años. Se observó un aumento en la ocurrencia de eventos de olas de calor (OC), siendo la región del Litoral la que registró las OC de mayor duración (Herrera, 2024). En el verano 2021/2022 se registraron 3 eventos de OC, con un evento sin precedentes que se extendió a gran parte del territorio, con una duración de hasta 14 días y temperaturas máximas que fueron récord en 24 localidades (Skansi et al., 2023). Similarmente, durante el verano de 2022/23, el país fue testigo por primera vez de diez OC. La OC más relevante en intensidad y duración se observó tardía, durante gran parte del mes de marzo, con varias localidades quebraron sus récords de temperatura y de demanda energética (Skansi et al, 2024a).

Los inviernos también han presentado temperaturas bajas extremas, aunque con mayor variabilidad interanual. Los últimos inviernos han variado desde inviernos suaves en cuanto a lo atemperado de las temperaturas a otros más crudos. Por ejemplo en los inviernos 2021 y 2024 se han registrado ingresos de aire muy frío con temperaturas extremas y OF en casi todo el país. En 2024, se registró la OF más extensa desde 1992, hubo heladas intensas, congelamiento de superficies de agua en la zona núcleo y récords de frío en varias localidades (Skansi et al, 2024 b). En 2021 el frío fue extremo en regiones del norte y noreste del país, la OF se extendió de forma inusual hacia regiones subtropicales y tropicales del continente (Marengo et al, 2023). Se registraron eventos de

olas de fríos con temperaturas mínimas extremadamente bajas con récord de frío en las provincias de Formosa, Chaco y Corrientes, en el evento de finales de julio ([https://www.smn.gob.ar/sites/default/files/Informe\\_Especial\\_oladefrío\\_julio2021.pdf](https://www.smn.gob.ar/sites/default/files/Informe_Especial_oladefrío_julio2021.pdf)).

Contar con información climática para la prestación de servicios climáticos se vuelve cada vez más relevante a la hora de planificar y tomar acciones que permitan minimizar los posibles impactos de estos fenómenos. Un continuo monitoreo de clima y de su posible evolución permite gestionar los recursos hídricos, planificar las actividades agropecuarias, gestionar diversos riesgos asociados a los eventos extremos, para minimizar los impactos negativos y para poder sacar beneficios y ganancias en momentos oportunos.

La variabilidad climática y la vulnerabilidad de las poblaciones varían a lo largo del país. La RHBS (Figura 1) se extiende sobre la parte norte de la provincia de Santa Fe, el sur de Chaco y el sudeste de la provincia de Santiago del Estero, es una gran planicie de 54.278 km<sup>2</sup> (Giraut, y otros 2001). Se caracteriza por gran variabilidad climática, siendo afectada tanto por sequías como por inundaciones que generan importantes consecuencias negativas sobre la producción, el medioambiente y las condiciones sociales de los habitantes de la zona (Lovino y otros., 2018; Sosa, 2012). Periódicamente se registran situaciones de emergencia que requieren de rápidas respuestas por parte del Gobierno nacional, el cual debe intervenir en problemas vinculados al corto plazo pero también para llevar una planificación a mayor plazo que permita un abordaje multidimensional para brindar alternativas para revertir el escenario a largo plazo (<https://www.argentina.gob.ar/noticias/bajos-submeridionales-el-ambicioso-plan-del-gobierno-nacional-para-recuperar-un-millon-y>).

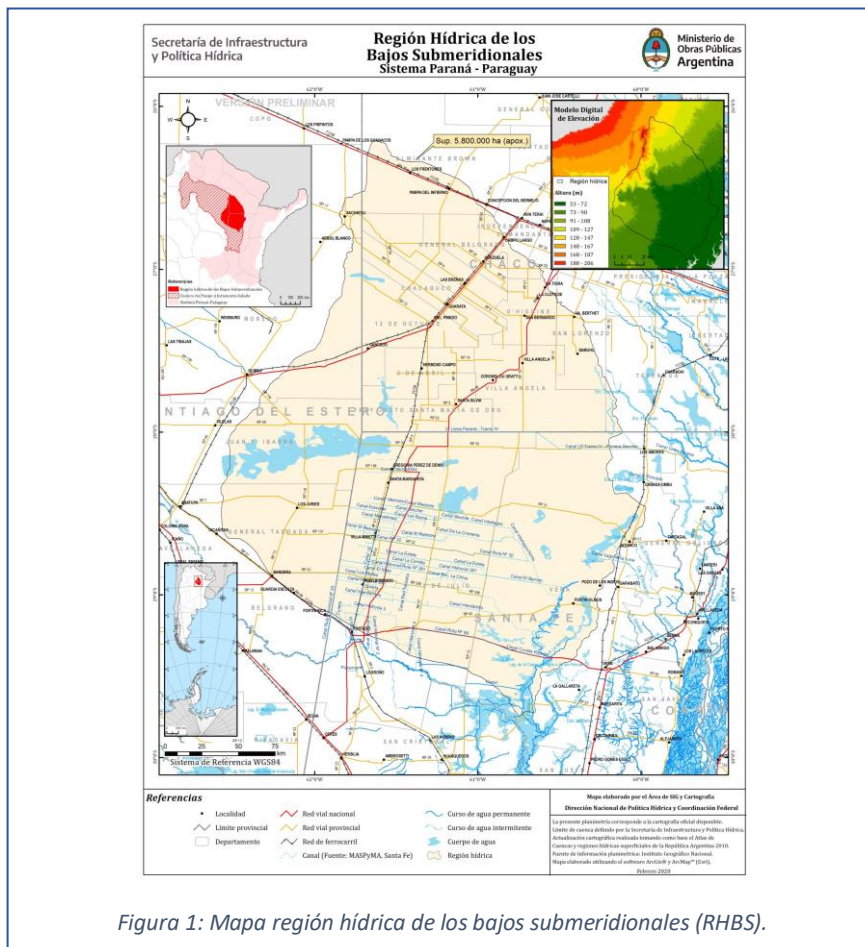


Figura 1: Mapa región hídrica de los bajos submeridionales (RHBS).

En 2018 se conformó el Comité Interjurisdiccional de la Región Hídrica de los Bajos Submeridionales (CIRHBAS) con el objeto de “promover el manejo coordinado y racional de los recursos hídricos para dar respuesta a la problemática de las inundaciones, anegamientos y sequías que afectan la región hídrica, entendida ésta como unidad de planificación, ordenamiento y gestión territorial”. En 2020 por convenio se ratifica la continuidad y se comprometen a promover la ejecución del Plan Director Hídrico (PDH) que deberá contemplar una “planificación sistémica, holística e integral” (<http://cuencasarg.org/2020/08/bajos-submeridionales/>).

El rol del clima en los impactos que se generan en la región pone de manifiesto la necesidad de contar con información climática oportuna que permita planificar y tomar decisiones tendientes a minimizar los impactos negativos del clima en las comunidades, ecosistemas y en las diversas actividades socioeconómicas. Diseñar, desarrollar e implementar un sistema de información sobre el clima es parte de la cadena de valor para la prestación de un servicio climático.

El SMN cuenta con una amplio set de datos y productos que elabora rutinariamente y que pueden ser el punto de partida para delinear el sistema de información para atender una problemática local. Hay diversa información climática elaborada en el SMN, en el Centro Regional del Clima para el Sur de Sudamérica (CRC-SAS), centros mundiales de pronóstico y la academia que se requiere sistematizar, integrar, adaptar y extender para aportar a la construcción de un sistema de información climática para la RHBS. La posterior articulación con sectores interesados permitirá ampliar y orientar el sistema para permitir una mejor gestión de los riesgos asociados al clima y apoyar la elaboración de planes asociados a la ocurrencia de eventos climáticos extremos.

Las mejoras técnicas que se incorporen en el proceso de producción del SMN a los fines de la construcción del sistema de información climática para la RHBS, implica una innovación de producto y de proceso (OCDE, 2005). A su vez es de carácter incremental o progresivo (OCDE, 2005; Orozco y otros, 2015). Este enfoque de carácter incremental permite mejorar servicios existentes, a partir de los conocimientos, la tecnología o las prácticas existentes para introducir mejoras iterativas (Geiger y Finch, 2016; Souto, 2015). La introducción de las mejoras se centra en la necesidad de adaptar un servicio según la demanda y de esta manera también permite a la institución progresar de forma constante (Orozco y otros, 2015).

Asimismo, a partir de la implementación del proyecto se plantea una innovación de tipo social (Gleason Rodriguez y otros, 2023). El fin del sistema de información climática es apoyar decisiones que redundan en mejoras en las condiciones sociales y de vida de la población de la cuenca.

### **3. Planteo del problema**

La RHBS se ve afectada frecuentemente por eventos climáticos extremos que tienen impactos en distintos sectores socioeconómicos. Si bien el SMN cuenta con un amplio set de datos, información y productos que elabora rutinariamente para comunicar a distintos usuarios, en general no abordan cuestiones de escala local. La mayor limitante en este sentido es la disponibilidad y gestión de datos como base para la caracterización y el monitoreo del clima, como así también la escala temporal y espacial de los pronósticos climáticos trimestrales.

El desarrollo e implementación de un sistema de información adaptado localmente requiere introducir mejoras en los procesos de producción para la generación de productos de caracterización, monitoreo y predicción del clima. La implementación de dichas mejoras necesita de sistemas informáticos que permitan gestionar los datos, elaborar y actualizar regularmente los productos, e incorporar nuevos desarrollos a partir de los avances técnicos y científicos.

En vistas de la implementación del PDH para la RHBS y ante la necesidad de dar respuesta a decisores políticos y gestores surge la siguiente pregunta: ¿qué mejoras se pueden implementar en los primeros eslabones de la cadena de producción de servicios climáticos del SMN, a fin de contribuir a la implementación de un sistema de información climática para la RHBS?

#### **4. Relevamiento de antecedentes**

Existe diversa información climática que producen organismos oficiales a nivel nacional, regional y global. Los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMNs) elaboran y publican rutinariamente información sobre el clima en sus respectivos países. Un aspecto clave para la definición de los productos es la disponibilidad de observaciones a lo largo de cada territorio, el acceso y calidad de otras fuentes de datos como así también los sistemas de gestión de datos que posean. De esta manera cada SMNs ajusta sus productos de monitoreo y caracterización del clima según la red de observación, datos complementarios y sus sistemas informáticos para el almacenamiento, control de calidad de sus datos y elaboración de productos.

En Sudamérica, si bien hay un abordaje similar en cuanto a la información que generan los países, la diversidad en cuanto a la extensión y características geográficas, sumada a la organización de los organismos públicos, introduce algunas diferencias. Por ejemplo, en el caso de Brasil el Instituto Nacional de Meteorología (INMET - <https://portal.inmet.gov.br/>) lleva adelante el monitoreo y predicción del clima a escala nacional, en tanto que existen otras instituciones públicas, privadas o mixtas que hacen foco en regiones con problemáticas comunes. Un ejemplo es el Sistema de Tecnología y Monitoreo Ambiental de Paraná (SIMEPAR - <https://www.simepar.org/>), que produce información de tiempo y clima para el estado de Paraná y que cuenta con una red de observación propia que integra a la red oficial del INMET. Asimismo, el Centro de Previsiones Meteorológicas y Estudios del Clima (CPTEC) (<https://clima.cptec.inpe.br/>) elabora información a escala nacional.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) cuenta con un Conjunto de Herramientas de Servicios Climáticos (CHSC) como uno de los elementos clave para la

implementación del Sistema de información de servicios climáticos. El CHSC proporciona herramientas informáticas, recursos de datos, orientaciones y manuales, recursos de capacitación para garantizar el desarrollo y la provisión de productos y servicios climáticos confiables, consistentes, procesables y de alta calidad.

A escala regional y global hay variada información tanto de datos, productos, pronósticos como herramientas que los SMHNs pueden utilizar para producir sus propios productos. A nivel regional existen los Centros Regionales de Clima (CRCs) que son centros de excelencia, que generan productos climáticos a escala regional con el fin de apoyar a los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHNs) a brindar mejores servicios climáticos. Los CRC crean productos climáticos regionales, como predicciones a largo plazo, monitoreo climático, y servicios de datos climáticos (<https://community.wmo.int/en/activity-areas/climate-services/regional-climate-centres>). En Sudamérica, el CRC para el Sur de América del Sur (CRC-SAS – [www.crc-sas.org](http://www.crc-sas.org)), es la instancia regional en apoyo al país. El CRC-SAS integra los seis SMHN del sur de Sudamérica (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay).

Por otra parte, a nivel mundial existen los Centros Mundiales de Producción de Pronósticos a Largo Plazo (GPC-LRF por sus siglas en inglés) designados por la OMM. Actualmente hay 15 centros designados cuyos pronósticos se ponen a disposición a través del Centro Líder de Pronóstico a Mediano Plazo (<https://www.wmolc.org/>), que es coordinado por el Centro de Predicción Climática (CPC) / Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), de Estados Unidos y por Administración Meteorológica de Corea, además de su propio sitio web. En el caso de América del Sur, hay un único centro designado que es el CPTEC. Otros centros que ofrecen previsiones estacionales globales y que no son GPC-LRF son el Instituto Internacional de

Investigación sobre el Clima y la Sociedad (IRI) de Estados Unidos (<https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/seasonal-climate-forecasts/>), y el Centro sobre el Clima del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC), de la República de Corea (<https://www.apcc21.org/?lang=en>).

En particular el IRI ha desarrollado una Herramienta de Predicción Climática - CPT por sus siglas en inglés- de libre acceso que es utilizada por la mayor parte de los SMHNs en Sudamérica. Este software permite construir un modelo de previsión climática estacional, validarlo y elaborar previsiones con datos actualizados. Utilizando correcciones de estadísticas de salida del modelo (MOS) a las predicciones climáticas del modelo de circulación general (GCM), o para producir previsiones utilizando campos de temperaturas de la superficie del mar o predictores similares. Asimismo, permite otros análisis como de correlación canónica (CCA), regresión de componentes principales (PCR) o regresión lineal múltiple (MLR) sobre cualquier dato y para cualquier aplicación.

Asimismo, vinculado a los sistemas de pronóstico, se definió el Centro principal de la OMM para el sistema de verificación normalizado de pronósticos a largo plazo (LC-SVSLRF), que es coordinado conjuntamente por la Oficina de Meteorología de Australia y el Servicio Meteorológico de Canadá. Este centro presenta información relevante en cuanto al desempeño de los pronósticos estacionales generados por cada GPC-LRF. ([https://www.wmolc.org/seasonVrfyHindDmmeUI/plot\\_VrfyHIND\\_DMME](https://www.wmolc.org/seasonVrfyHindDmmeUI/plot_VrfyHIND_DMME))

Por otra parte, el Servicio de Cambio Climático Copernicus – C3S (<https://climate.copernicus.eu/>) proporciona información fidedigna sobre el clima pasado, presente y futuro en Europa y el resto del mundo. Diversos set de datos, información climática y herramientas pueden considerarse para la elaboración de otros productos derivados a escala más pequeña.

En cuanto a los sistemas de gestión de datos, los mismos han ido evolucionando con el avance de los sistemas informáticos. La implementación en los SMHNs también es muy dispar entre países dependiendo tanto de las capacidades de infraestructura tecnológica como de los recursos humanos dedicados a estos temas. En la actualidad hay sistemas con diferentes alcances en cuanto a sus funcionalidades. Algunos sistemas son de uso abierto, y otros son bajo licenciamiento. Entre los CDMS reportados por la OMM se mencionan:

- CLISYS: desarrollado y con soporte de Meteo France Internacional. (<https://www.mfi.fr/fr/systemes/?id=5>).
- CLIDATA: desarrollado en el Instituto Hidrometeorológico de República Checa. (<https://www.clidata.cz/>)
- CLIMSOFT: propuesto y mantenido por Centro Africano de Aplicaciones Meteorológicas para el Desarrollo (ACMAD). (<https://climsoft.org/>)
- CLIWARE: propuesto y mantenido por Instituto Ruso de Investigación Hidrometeorológica. (<http://cliware.meteo.ru/meteo/CliWareDoc.html>)

En el caso del CRC-SAS cuyo sistema operativo es responsabilidad del SMN, se ha desarrollado e implementado una base de datos, en lenguaje PostgreSQL (CRC-SAS-2023-001). Posee diversas funcionalidades desarrolladas todas en código abierto.

Para facilitar el análisis de los datos climáticos se ha desarrollado diferentes paquetes en lenguaje R (<https://www.r-project.org/>) o en programas que se comparten a partir de github. Estas librerías son recursos que permiten optimizar los tiempos que implican desarrollos propios. Varios códigos se pueden vincular a las base de datos propias e incluso facilitar acceso y procesamiento de datos satelitales, y otros datos a nivel global. Algunos paquetes son:

Climact2: se basa en el software RClimDEX desarrollado por el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI) de CCI/CLIVAR/JCOMM de la OMM. ClimPACT es el Software para el cálculo de índices de extremos climáticos incluyendo SPI y SPEI ( <https://github.com/ARCCSS-extremes/climact2>)

ClimIndVis: proporciona un conjunto de funciones fáciles de usar para la generación de productos de índices climáticos para datos observacionales, de reanálisis y de predicción estacional. (<https://github.com/Climandes/ClimIndVis>).

R-Instat: software estadístico (<https://r-instat.org/index.html>); (<https://github.com/IDEMSIInternational/R-Instat>)

Climatol Climate Tools: contiene funciones para el control de calidad, homogeneización y relleno de datos faltantes de series climatológicas y para la obtención de resúmenes y cuadrículas climatológicas de las series resultantes. También proporciona funciones para realizar diferentes gráficos climáticos. (<https://www.climatol.eu/> ).

## **5. Objetivos**

### Objetivo general

Contribuir a la implementación de un sistema de información climática (monitoreo, diagnóstico y pronóstico) como aporte a la toma de decisiones en la Región Hídrica de los Bajos Submeridionales.

### Objetivos específicos

- Instrumentar un sistema de monitoreo y diagnóstico de las condiciones climáticas en la RHBS.

- Definir los lineamientos para la construcción de un sistema de pronóstico climático (temperaturas y precipitación) a mediano plazo, desarrollado sobre la base de los últimos avances científicos.
- Elaborar un prototipo de informe climático sintético orientado a decisores políticos y gestores vinculados a la planificación y gestión del territorio.

## 6. Aspectos teóricos

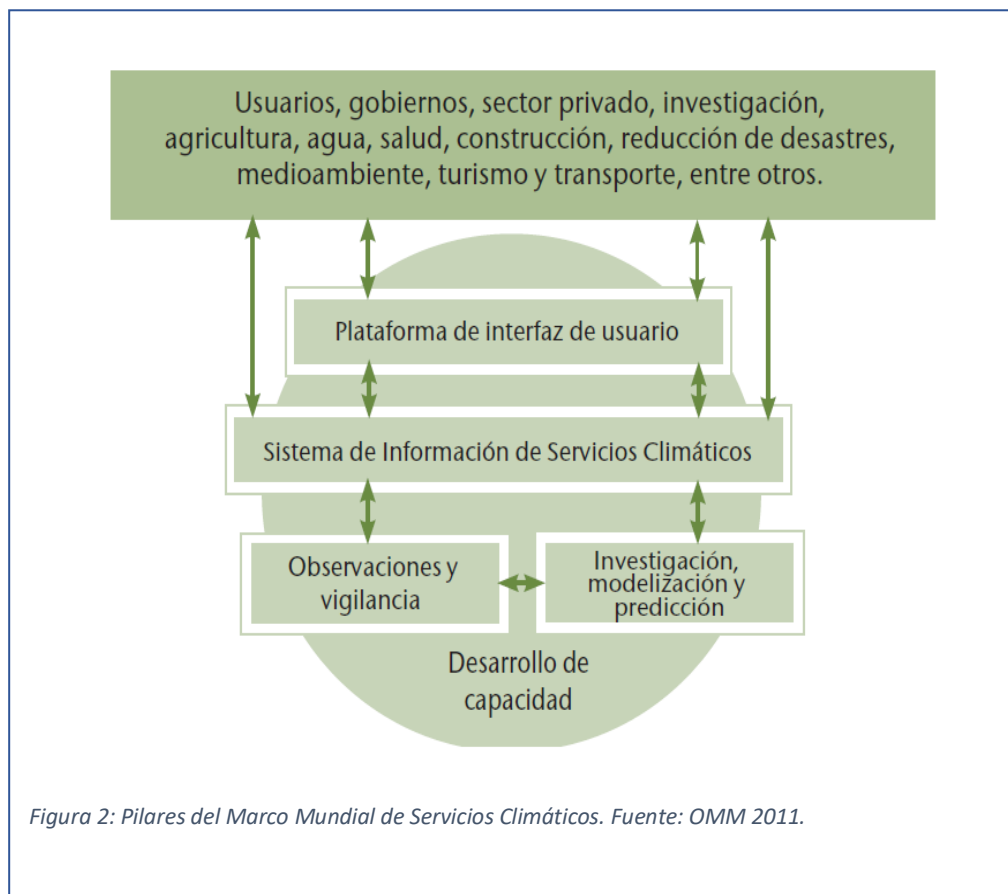
### 6.1. Servicios Climáticos

El equipo especial de alto nivel sobre el marco Mundial de los Servicios climáticos (MMSC) definió los *servicios climáticos* como “información climática preparada y suministrada para satisfacer las necesidades de los usuarios” (OMM, 2011). La prestación de un servicio requiere un nivel de participación suficiente así como un mecanismo de acceso eficaz y debe responder a las necesidades de los usuarios.

El MMSC se basa en cinco pilares (OMM 2011, OMM 2014a) (Figura 2):

- *Plataforma de interfaz de usuario*: que es la estructura mediante la cual los usuarios, los investigadores y los proveedores de información interactúan a todos los niveles;
- *Sistema de información de servicios climáticos (SICS)*: es el mecanismo a través del que se recopila, almacena y procesa regularmente información (pasada, presente y futura) sobre el clima, con el fin de crear productos y servicios que permitan apoyar la adopción de decisiones, en diferentes actividades socioeconómicas sensibles al clima. El SICS constituye un medio que permite transformar los resultados de las investigaciones y los avances tecnológicos en información climática mejorada para fines operativos;

- *Observaciones y vigilancia:* se refiere a la recopilación, gestión y difusión de las observaciones climáticas y de otros datos que se consideren necesarios para satisfacer las necesidades de los usuarios finales. Este pilar ayuda a garantizar que las observaciones climáticas se realicen, gestionen y difundan, acompañadas de los metadatos pertinentes;
- *Investigación, modelización y predicción:* necesarias para mejorar continuamente la calidad científica de la información climática, proporcionando una base empírica para determinar las repercusiones del cambio climático y la variabilidad del clima;
- *Desarrollo de capacidad:* para satisfacer los requisitos básicos para que permitan llevar a cabo cualquier actividad relacionada con los servicios climáticos.



Asimismo, se define:

*Datos climáticos*: observaciones climáticas históricas y en tiempo real así como resultados de modelos directos referentes a períodos históricos y futuros. Todos los datos climáticos deberán ir acompañados de información sobre la manera en que se obtuvieron estas observaciones y resultados de modelos (“metadatos”).

*Producto climático*: síntesis derivada de datos climáticos. Un producto combina datos climáticos con conocimientos climáticos para añadirles valor.

*Información climática*: datos climáticos, productos climáticos y/o conocimientos climáticos.

Otro aspecto en la prestación de los servicios climáticos se relaciona a la escala geográfica, se definen tres escalas: mundial, regional y nacional. Cada una de ellas orientada a diferentes funciones que a su vez se retroalimentan. En la Figura 3 se ilustra esta vinculación y principales usuarios.

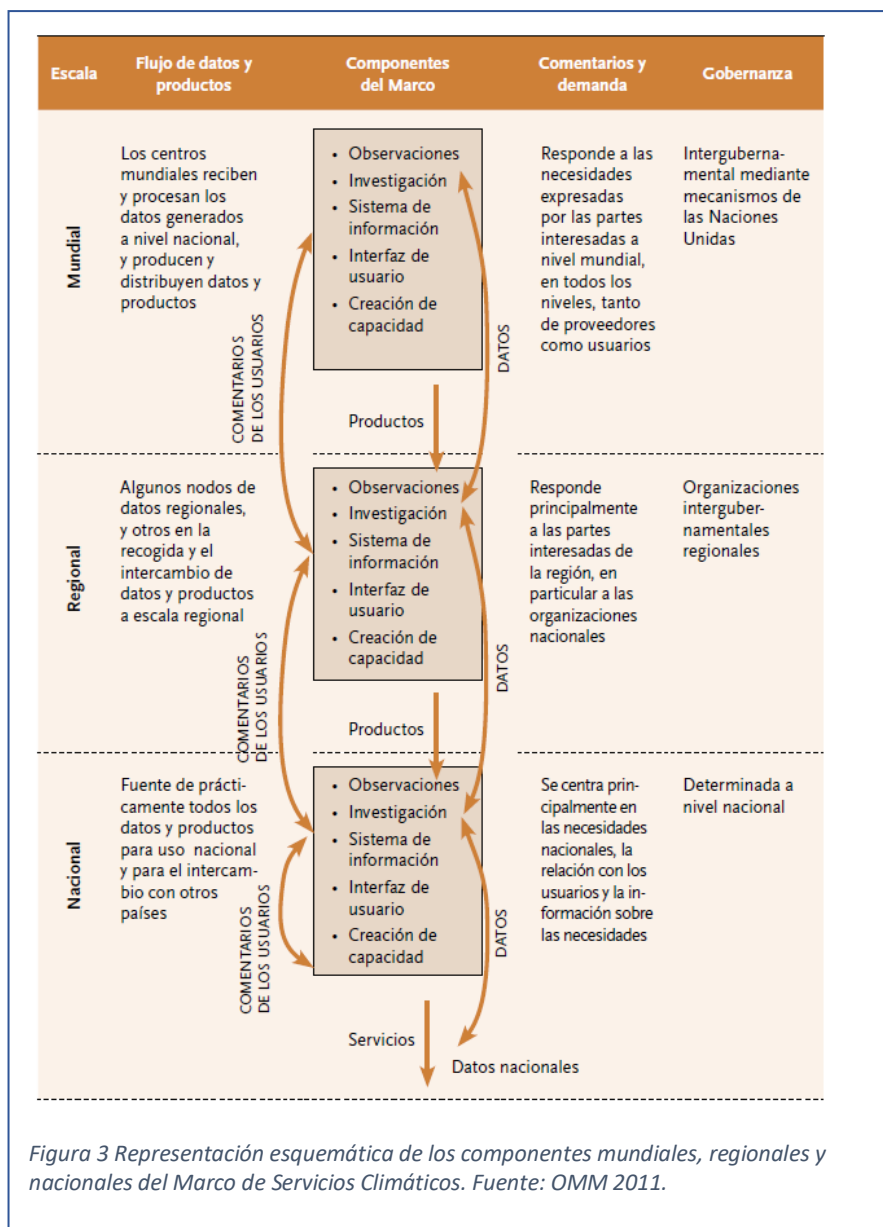


Figura 3 Representación esquemática de los componentes mundiales, regionales y nacionales del Marco de Servicios Climáticos. Fuente: OMM 2011.

Los diferentes pilares del MMSC están vinculados e interactúan constantemente. La Figura 4 representa la cadena de valor de los servicios climáticos. En la misma se aprecia el rol del SISC como insumo clave para la producción de servicios orientados a diferentes sectores.

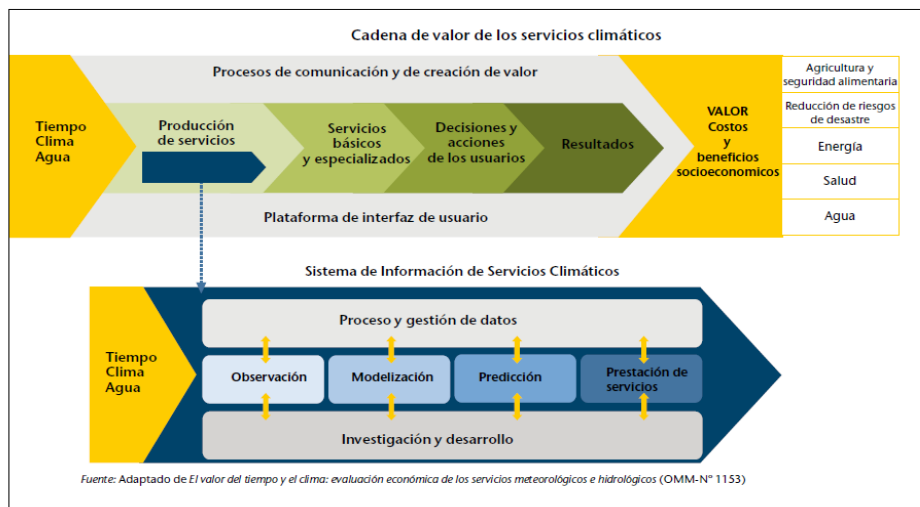


Figura 4: Cadena de valor de los servicios climáticos.

Fakhruddin y otros (2021), muestran la cadena de valor indicando la necesidad de una integración de los sistemas de información meteorológica, climática e hídrica (Figura 5). Similarmente a la Figura 4, los tres primeros eslabones de la cadena asociados a la elaboración de información climática comprenden datos, vigilancia y predicción. Fortalecer estos eslabones es clave para avanzar en la prestación de servicios.

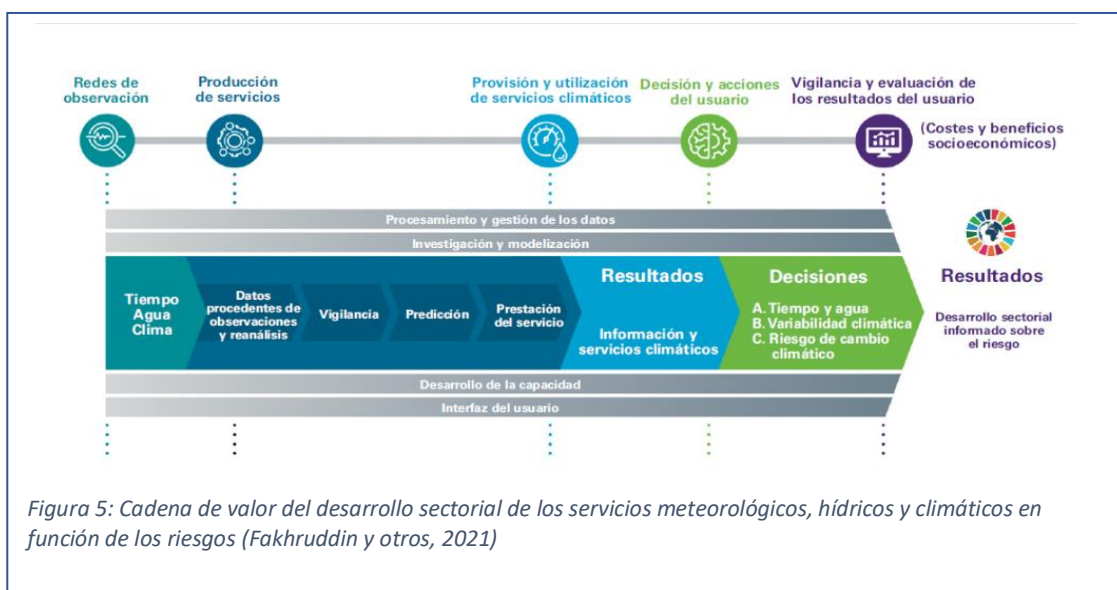


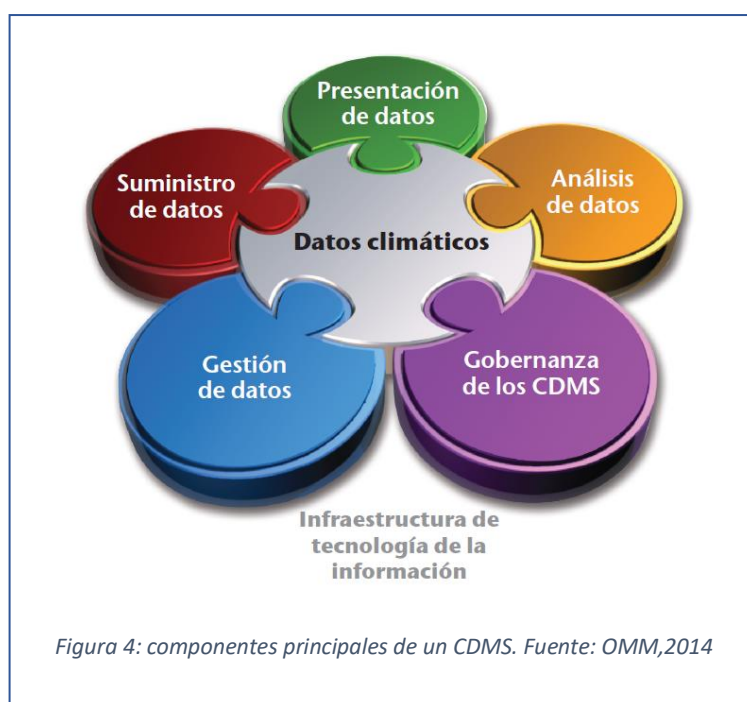
Figura 5: Cadena de valor del desarrollo sectorial de los servicios meteorológicos, hídricos y climáticos en función de los riesgos (Fakhruddin y otros, 2021)

## 6.2 Sistemas de gestión de datos climáticos

A los fines de gestionar los datos climáticos se establecen Sistemas de Gestión de Datos Climáticos (CDMS por sus siglas en inglés) los cuales constituyen una de las herramientas claves para mantener series temporales de variables climáticas a largo plazo, de alta calidad y confiables. Un CDMS se define como “un sistema informático integrado que facilita el archivo, la gestión, el análisis, la distribución y la utilización eficaces de una amplia gama de datos climáticos integrados” (OMM, 2014b). La funcionalidad de un CDMS, puede comprender más de un paquete de software.

Las componentes principales de un CDMS se presentan en la Figura 6 y se describen a continuación (OMM, 2014b):

- **Gobernanza del CDMS:** Consiste en políticas y procesos de gobernanza necesarios para establecer y gestionar fuentes autorizadas de datos climáticos y servicios relacionados. Incluye políticas de datos, sostenibilidad, propiedad intelectual, entrega de datos y datos de terceros.



- **Gestión de datos:** Aborda la funcionalidad requerida para gestionar eficazmente los datos climáticos, incluyendo la ingestión y extracción de datos, rescate de datos, control de calidad de observaciones, evaluación de calidad y gestión de metadatos climáticos.

- **Entrega de datos:** Se refiere a la funcionalidad necesaria para entregar datos climáticos, incluyendo datos y metadatos.

- **Análisis de datos:** involucra una amplia variedad de técnicas analíticas que se aplican a los datos climáticos y pueden dar lugar a la generación de una serie de productos de datos derivados. Algunos ejemplos: análisis estadístico, espacial y de imágenes, homogenización de datos.

- **Presentación de datos:** Representa diversas formas que permiten comunicar información relacionada con el clima. Por ejemplo: informes, reportes, gráficos dinámicos.

- **Infraestructura de TI:** Representa las funcionalidades necesarias para soportar un CDMS, incluyendo infraestructura de aplicaciones, operaciones de servicio y plataforma de computación.

### **6.3 Predicción climática**

La predicción climática es una estimación sobre las condiciones climáticas futuras en diferentes escalas temporales (meses a años) y espaciales (global, regional o local). Se basa en el uso de modelos climáticos, que representan el comportamiento del sistema climático y sus interacciones. Los avances en el conocimiento del clima y la mejora en la capacidad computacional, han permitido que los modelos hayan ganado complejidad y

precisión. Las predicciones climáticas estiman la evolución probable de ciertos elementos climáticos en períodos que van desde un mes hasta varios meses. (OMM, 2018).

Los modelos climáticos pueden ser simples o complejos. Los modelos estadísticos o empíricos se basan en relaciones entre variables predictoras, como la temperatura superficial del mar, y la variable a predecir como la precipitación en un trimestre. Los predictores se identifican mediante el análisis físico de los mecanismos que controlan la variable a predecir (OMM, 2020). Estos métodos tienen varias ventajas: requieren pocos recursos computacionales, son fáciles de implementar operativamente y están ajustados a las observaciones, lo que corrige sesgos en los valores medios. Además, pueden generar predicciones tanto determinísticas como probabilísticas. Sin embargo, presentan limitaciones: asumen que el sistema climático es estacionario, por lo que no representan bien tendencias y variaciones a largo plazo; tienen dificultades para reproducir la variabilidad observada de las variables predichas; y, al basarse generalmente en relaciones lineales, no capturan adecuadamente las interacciones no lineales del sistema climático (OMM, 2020).

Los modelos climáticos globales (MCG) analizan y acoplan el sistema climático a nivel mundial, mientras que los modelos regionales se centran en áreas más pequeñas. La predicción estacional dinámica requiere una gran cantidad de recursos computacionales y acceso a una infraestructura avanzada tanto para realizar las predicciones como para generar las condiciones iniciales. Este proceso implica la asimilación e integración en tiempo real de observaciones globales in situ y satelitales. Entre sus ventajas, destaca que no está limitada por suposiciones de linealidad, a diferencia de los métodos empíricos. Además, representa de manera más completa los diversos procesos climáticos que influyen en la variabilidad estacional y permite simular una mayor variedad de

comportamientos, ya que se basa en principios físicos en lugar de depender únicamente de datos observacionales, por lo cual pueden prever patrones climáticos que nunca hayan sido registrados (OMM, 2020). Otra ventaja es que el uso de ensembles permite cuantificar mejor la incertidumbre en los pronósticos y estimar probabilidades de distintos escenarios climáticos (OMM, 2020).

Cuando se combinan métodos estadísticos y dinámicos, se dice que el enfoque es híbrido. Asimismo, puede haber intervención experta de los pronosticadores, elaborando una predicción de consenso.

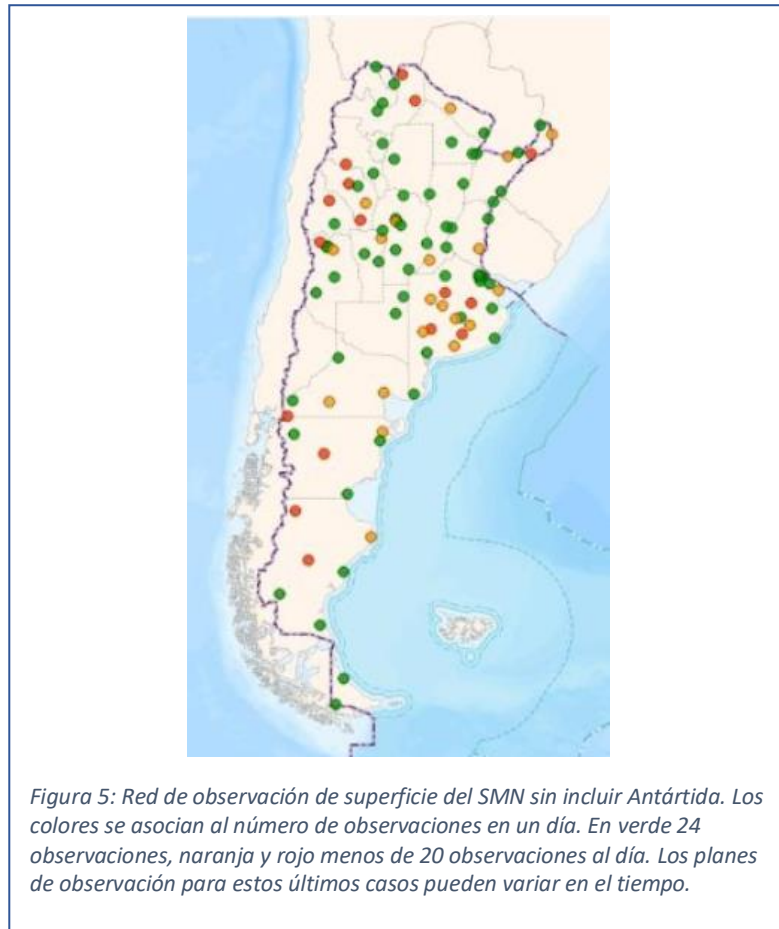
## **7. Reseña situación actual**

### **7.1. Estado actual de las observaciones meteorológicas in situ**

#### **7.1.1. Cobertura y limitaciones de la red de observación del SMN**

El SMN mantiene una red de observación de variables meteorológicas de superficie, que en algunos sitios iniciaron hace más de 100 años. Todos los sitios de medición se establecen siguiendo estándares y protocolos que establece la OMM.

Actualmente, la red de estaciones de observación está integrada por 125 estaciones sinópticas de superficie. Estas estaciones son convencionales, es decir, las observaciones son realizadas por un observador meteorológico. Además, se están sumando estaciones meteorológicas automáticas. (Figura 7).



Las estaciones meteorológicas convencionales, dependiendo sus características, tienen diferentes planes de labor. Alrededor del 60% realizan mediciones cada hora durante las 24 hs del día, en tanto que otras varían su plan de mediciones de acuerdo al tipo de estación (por ejemplo climática). Asimismo, puede haber cambios en la frecuencia de observación asociada a reducción de personal. Generalmente el tipo de plan de mediciones en los puntos que no son de 24 hs es de mediciones horarias entre las 6:00 hs y 21:00 hs o cada 3 o 6 hs, incluyendo al menos 3 observaciones principales (9:00 hs, 15hs y 21 hs). El último requerimiento es indispensable desde el punto de vista climático para obtener los valores medios diarios, las temperaturas extremas tanto mínimas como máximas, y la precipitación en 24 hs que es informada a las 9 Hs.

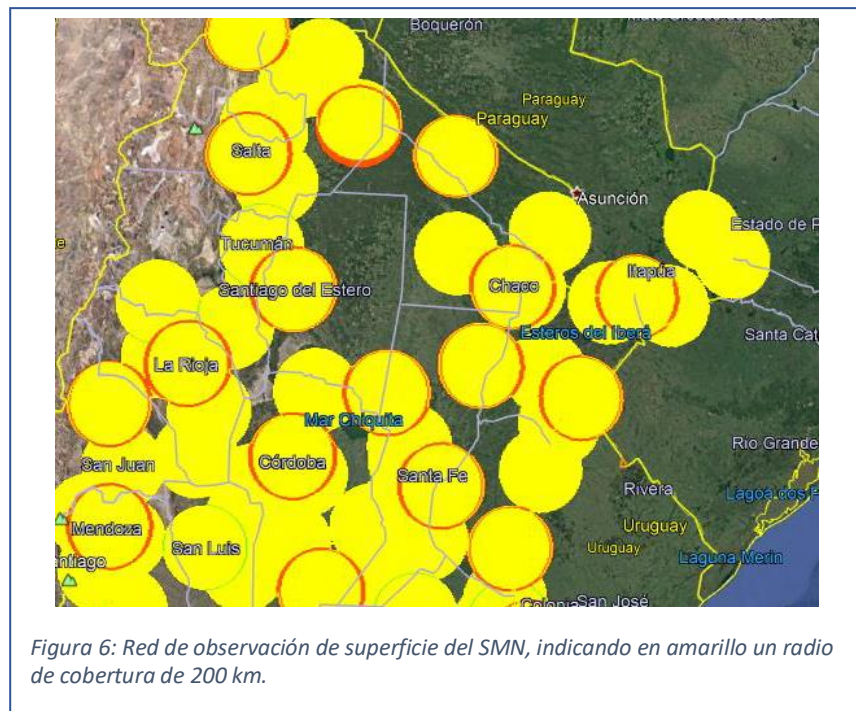
En cuanto al tipo de parámetros que se registran en las estaciones manuales son precipitación, nubosidad, temperatura, humedad, viento, estado del tiempo, visibilidad, presión, heliofania. En algunas estaciones además se incluyen otro tipo de mediciones como la evaporación, la temperatura del suelo y la profundidad de la napa freática.

En particular, en el caso de la precipitación además de la lluvia acumulada, se realiza una medición continua a partir de los pluviómetros. Sin embargo, estos equipos se han ido degradando y quedaron la mayor parte fuera de servicio. Esta medición es clave a la hora de determinar la intensidad de la precipitación pero requiere de procesos posteriores que han hecho que mucha información quede pendiente de digitalizar, más allá que los procesos para esto han evolucionado (Flores, 2025).

En el caso de las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) los instrumentos registran y transmiten observaciones automáticamente. Las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) del SMN registran y transmiten datos cada 10 minutos, con excepciones puntuales configuradas a intervalos de 1 minuto según requerimientos específicos. La diferencia en los parámetros que se obtienen respecto a las estaciones convencionales radica en variables como la nubosidad, el estado del tiempo y la visibilidad, que son estimadas por el observador humano.

Queda visible que si bien la cobertura espacial de la red de observación del SMN alcanza a todo el territorio nacional, su distribución es irregular, algunas regiones o provincias cuentan con escasos puntos de medición. Sumado a ello, no se ha dado el salto tecnológico en cuanto a la transición de estaciones manuales a EMAs, en toda la red, lo que implica que no se cubren las mediciones durante todo el día y aun así, la máxima frecuencia en la observación es de 1 hora. Esta situación tiene gran impacto cuando se requiere abordar un monitoreo y caracterización del clima en escalas espaciales locales.

En cuanto a la distancia entre los sitios de observación la OMM ha definido en diversos manuales y guías, para la definición de las redes dependiendo los requisitos del tipo de red y uso de los datos. En particular, los lineamientos para la Red Básica de Observación (GBON- sus siglas en inglés) considerando los requisitos de la Predicción Numérica Global del Tiempo y el Reanálisis, contempla 200 km como radio de influencia de una estación. Sin embargo, esta densidad es aún grande cuando se requieren analizar otros aspectos, como en el caso del monitoreo de precipitación. Considerando un radio de 200 km en las estaciones del SMN quedan vacíos siendo una de esas áreas la correspondiente a la RHBS (Figura 8).



Haciendo foco en la RHBS, se observa que es un área que carece de registros. No hay estaciones meteorológicas activas del SMN en la región, sólo se cuenta con 3 estaciones que se ubican próximas a sus límites: Ceres Aero, Reconquista Aero, y Roque Saenz Peña Aero. Estas estaciones tienen registros de más de 50 años de observaciones continuas y en el caso de la estación meteorológica de Ceres Aero, sus registros iniciaron

en 1896, siendo una de las 11 estaciones centenarias designadas por OMM (<https://wmo.int/activities/centennial-observing-stations/centennial-observing-stations>).

En cuanto a las estaciones pluviométricas (sólo registran precipitación), con el cierre de los ferrocarriles se perdieron un gran número de observaciones, que mantuvieron registros en gran parte del siglo pasado. No obstante, se mantienen otras redes pluviométricas que son operadas principalmente por los gobiernos provinciales e por agencias de aguas.

Desde hace décadas el SMN integra en su red los datos provenientes de la red de observación del Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA). Dicha red aún mantiene algunos puntos con observaciones manuales, con un plan de labor de 3 observaciones diarias, en tanto que incrementó la cantidad de sitios con estaciones meteorológicas automáticas. En el caso de la red convencional, las observaciones no se integran en tiempo cuasi real, esto impacta en la elaboración de productos de monitoreo.

Además de estaciones del INTA el SMN está integrando datos de otras redes de observación. La estrategia de integración de redes de tercero, sigue el lineamiento de redes escalonadas o por niveles (Thorne et al., 2018). Este enfoque pone en valor todas las observaciones que de acuerdo a diferentes aspectos como estabilidad, calibración, pueden contribuir a diferentes objetivos.

Como parte del plan de integración de redes de terceros se cuenta con diferentes redes que han comenzado a integrarse. Entre ellas se menciona la red de la Bolsa de Cereales de Córdoba (100 estaciones) y la red del Ministerio de Producción de la provincia de Chaco (21 estaciones). Esta última de impacto directo en la RHBS.

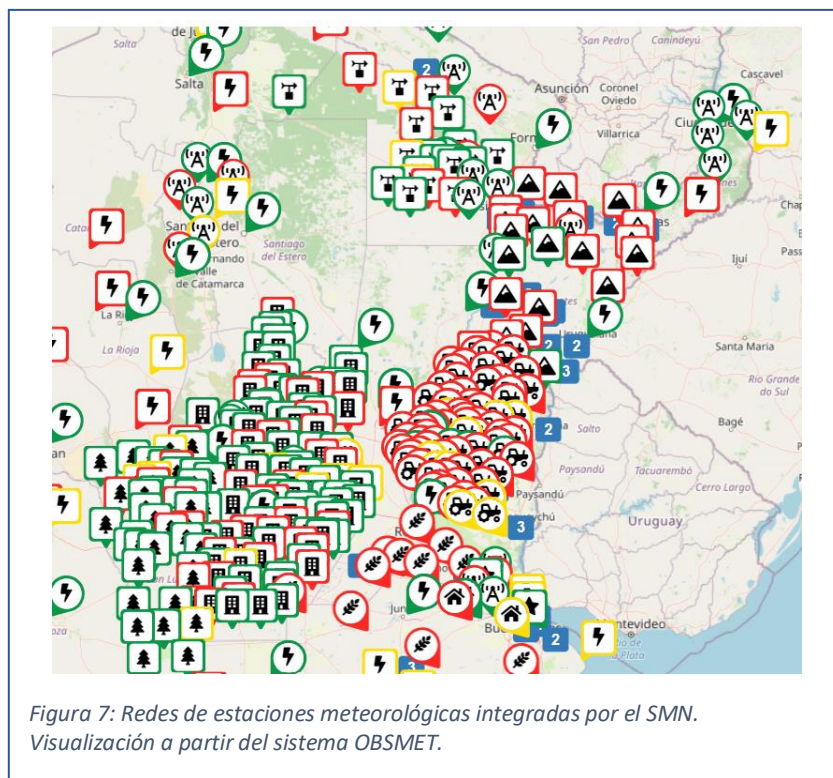
### 7.1.2 Gestión de los datos meteorológicos

Las mediciones deben entrar en tiempo y en forma a la base de datos del SMN para su evaluación y generación de productos. En la actualidad los datos provenientes de estaciones convencionales son ingestados y almacenados en una base de datos ORACLE. En este proceso se realiza un control de calidad en el momento que el dato es recepcionado, y posteriormente cada mes se realizan otra serie de controles de calidad. Este proceso permite detectar datos erróneos o sospechosos, que son evaluados y luego pueden ser validados o corregidos.

Por otra parte, los datos provenientes de las estaciones automáticas quedan almacenados en otra base de datos sin tener aplicados procesos de control de calidad. Este flujo de datos a diversas bases de datos, ha sido un obstáculo para integrar de manera regular y en diferentes productos datos provenientes de estaciones automáticas.

En este sentido el SMN se encuentra en un proceso de mejora en sus sistemas de recepción y monitoreo operativo de adquisición y calidad de los datos, como así también de la gestión de los datos climáticos. Se ha definido un nuevo circuito de datos que se encuentra en fase testeo y que permite integrar en una misma plataforma los datos de observación in-situ, tanto los provenientes de observaciones manuales como automáticas. Para la integración, control y monitoreo en tiempo real se ha optado por el sistema OBSMET.

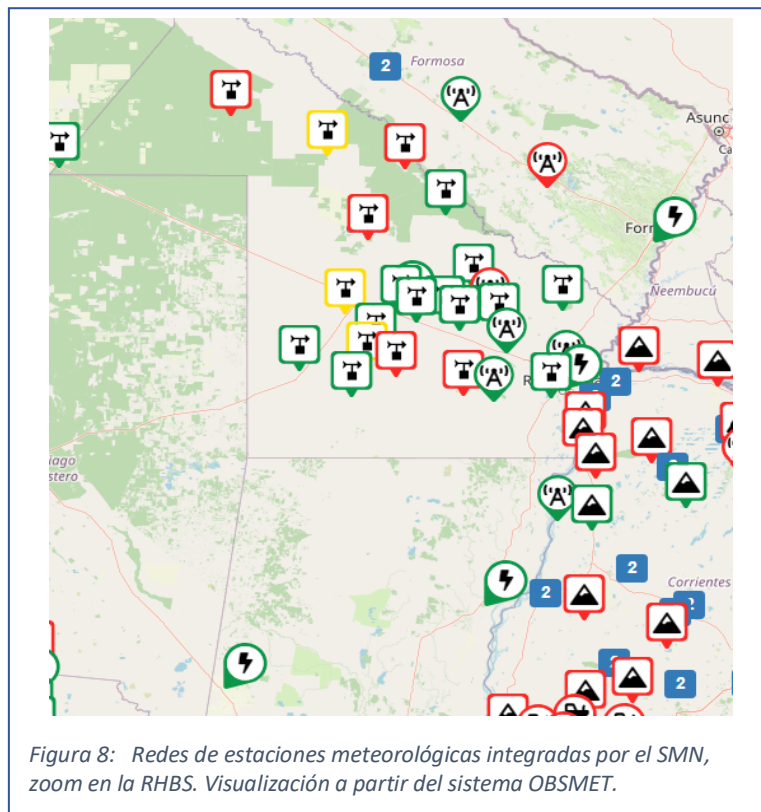
OBSMET es un Sistema de recopilación, procesamiento y monitoreo de observaciones meteorológicas de superficie desarrollado por MFI (<https://www.mfi.fr/es/sistemas-meteorologicos/?id=2>). A partir de la implementación de OBSMET, aún en fase de testeo, se ha dado el primer gran salto integrando los datos propios y los de otras redes contribuyentes, con un monitoreo de su calidad en tiempo real. En la Figura 9 se presenta el estado de agregación de redes en el noreste del país. El color asignado a cada sitio de observación, en el caso de no ser verde, indica una anomalía que puede indicar datos faltantes, dudosos o erróneos de acuerdo a los controles de calidad que se han definido, los cuales aún están en etapa de testeo.



La integración de datos de redes de tercero depende de las capacidades de infraestructura tecnológica de los organismos que las operan. En este sentido, por ejemplo no se están integrando toda la red de estaciones automáticas del INTA y en el caso de las observaciones manuales no se integran en tiempo real, por lo cual no se

visualizan en este aplicativo. Similarmente, hay redes pluviométricas que tienen registros largos pero que no se integran en forma diaria aunque sí en tiempo diferido. Un ejemplo es la red de APA en Chaco.

Al focalizar en la RHBS, se destaca que casi no hay un impacto para el monitoreo en la RHBS. En Santa Fe y Santiago del Estero se mantiene la falta de datos, al menos cuando se pretende generar información de actualización más frecuente que la mensual (Figura 10).



En cuanto a la base de datos histórica, como se mencionó anteriormente, actualmente integra los datos provenientes de estaciones convencionales. A partir de una interfaz se pueden generar diversos reportes que han sido definidos según requerimientos internos para facilitar la consulta de datos y resúmenes mensuales. Una de las debilidades del actual sistema es la trazabilidad del dato, ya que ante una corrección se indica el

cambio pero no se mantiene el dato previo. Otro punto es la generación de gráficos de manera automática.

Como parte de la actualización de los sistemas, se encuentra en proceso la implementación de CLISYS. Esta migración permite integrar todos los datos que se reciben en el SMN, pasando en primera instancia por OBSMET. Para el caso de datos de estaciones convencionales o pluviométricas que no transmiten en tiempo real, se prevé la inclusión directamente en CLISYS.

La implementación de CLISYS es una oportunidad para mejorar los servicios climáticos. Entre sus ventajas incluye controles automatizados en tiempo diferido que consideran test asociados a cambios temporales como test espaciales. Asimismo, da trazabilidad a los datos dado que mantiene los datos que se puedan haber modificado debido a errores, y también permite configurar cálculos simples y automatizarlos. En la siguiente sección se mencionará las mejoras para la caracterización y monitoreo del clima.

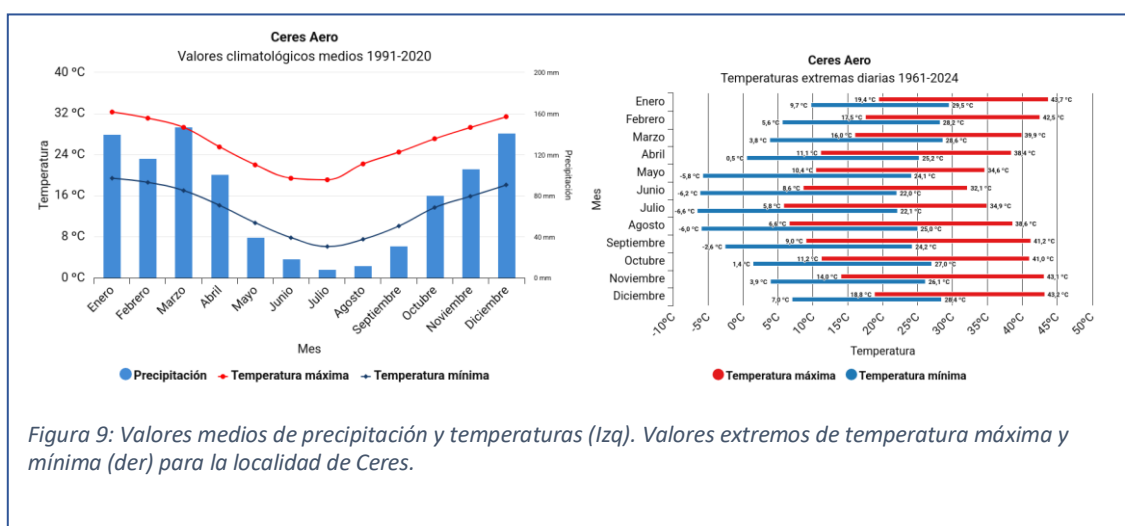
## **7.2. Información climática caracterización**

Diversos productos son elaborados en el SMN a los fines de caracterizar el clima y de comprender la variabilidad climática en cada región. Los análisis se basan principalmente en los datos in-situ, aunque para estudios especiales pueden complementarse a partir de otras fuentes de información.

Cada diez años se elaboran las estadísticas de diez años y las normales climáticas. La información que contienen estas publicaciones incluye valores medios y extremos de los parámetros meteorológicos de superficie, como así también valores asociados al número de días con lluvia, niebla, entre otros fenómenos, tanto de la red del SMN como para

algunos puntos del INTA. Los cálculos se realizan siguiendo los lineamientos establecidos por la OMM. Las estadísticas climatológicas normales 1991-2020 (SMN, 2023) se encuentran accesibles desde el repositorio del SMN (<https://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/2506>).

Asimismo, en el sitio web se publican gráficos de algunos parámetros a nivel de estación meteorológica (<https://www.smn.gov.ar/estadisticas>), por ejemplo, valores medios y extremos de precipitación, temperatura, eventos extremos de calor y frío. Un ejemplo para la localidad de Ceres se presenta en la Figura 11.



Además de presentarse la información a nivel puntual se elaboran mapas que cubren todo el país, mostrando campos medios de las variables como así también las tendencias observadas (Figura 12). Parte de esta información se actualiza anualmente, en tanto que las estadísticas se actualizan cada 10 años. Los procesos para las actualizaciones, en general, son semi-automáticos y se hacen utilizando diferente software.

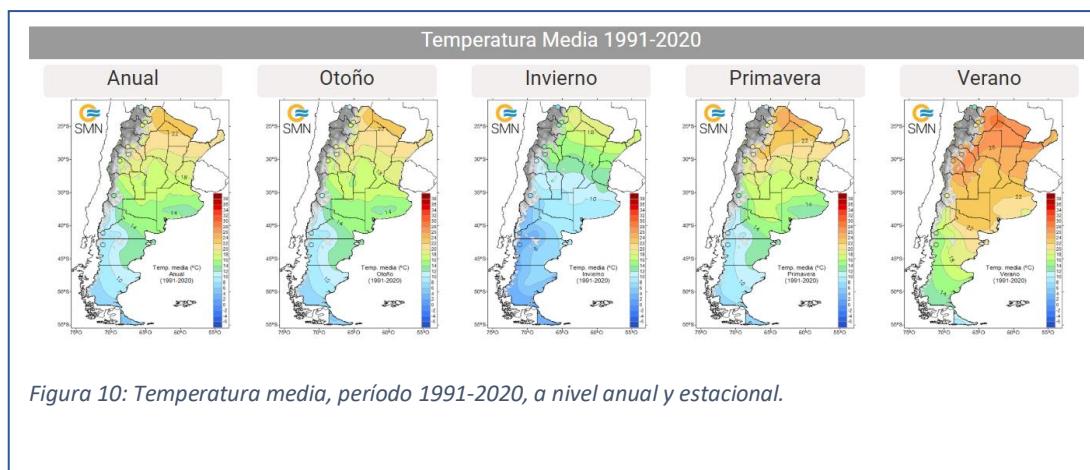


Figura 10: Temperatura media, período 1991-2020, a nivel anual y estacional.

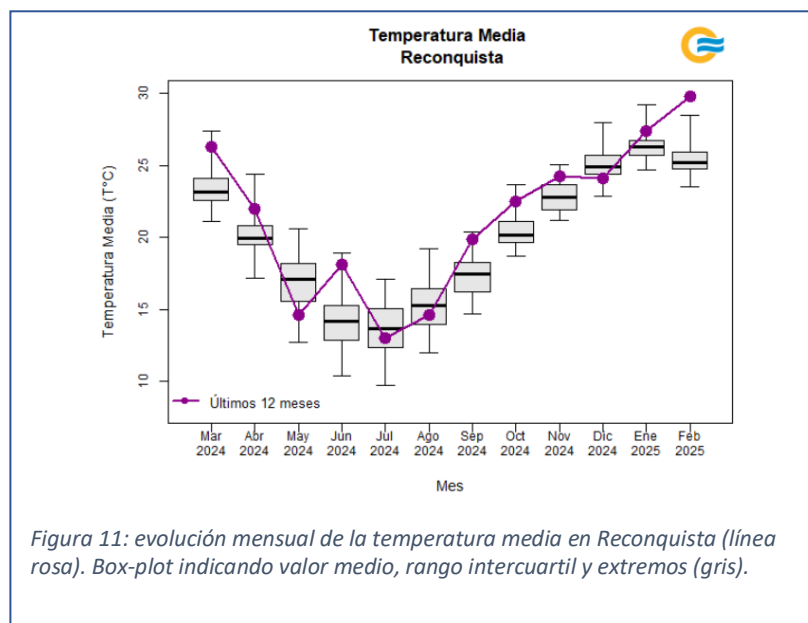
Además de estos productos, se realizan diferentes análisis que contribuyen al conocimiento de la variabilidad climática. Parte de esta información también se presenta en el sitio web, en particular análisis simples en relación al comportamiento de la temperatura y la lluvia según las fases del ENOS ([https://www.smn.gov.ar/como\\_nos\\_afecta](https://www.smn.gov.ar/como_nos_afecta)). Otros análisis asociados al ENOS o forzantes regionales como el Dipolo del Océano Indico, no han sido publicados, eventualmente se presentan en las reuniones de tendencia climática o en presentaciones que se realizan a diferentes instituciones según necesidades en particular.

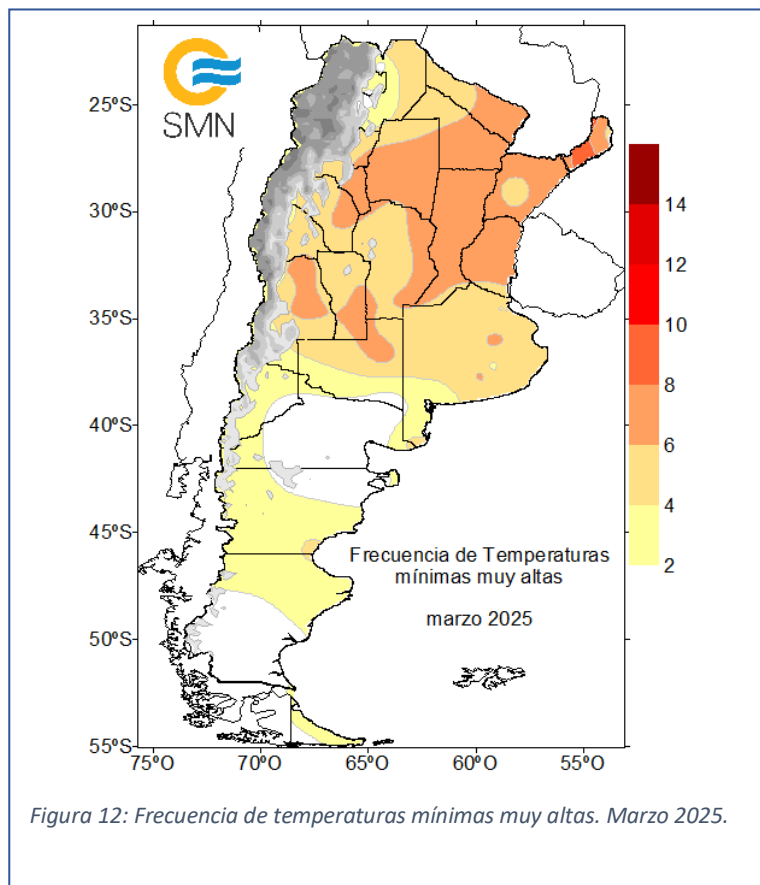
Al igual que para los productos de monitoreo, las herramientas para el análisis son diversas. Aún se mantienen en varios casos el uso de planillas Excel, en tanto que hay se hay desarrollado programas, mayormente en lenguaje R, que facilitan la elaboración de algunos productos. Esto plantea una debilidad en cuanto a la agilidad y optimización de recursos para la elaboración de los productos. Se debe avanzar en la migración a procesos automatizados o semiautomatizados, aprovechando herramientas existentes como el paquete ClimInvis, códigos implementados en el CRC-SAS, entre otros.

A partir de la implementación de CLISYS, varios cálculos y productos podrán automatizarse. El sistema posee un módulo para el cálculo de las normales climáticas y otros cálculos y visualizaciones a partir de datos históricos, como los índices de extremos climáticos, tablas de contingencia, entre otros.

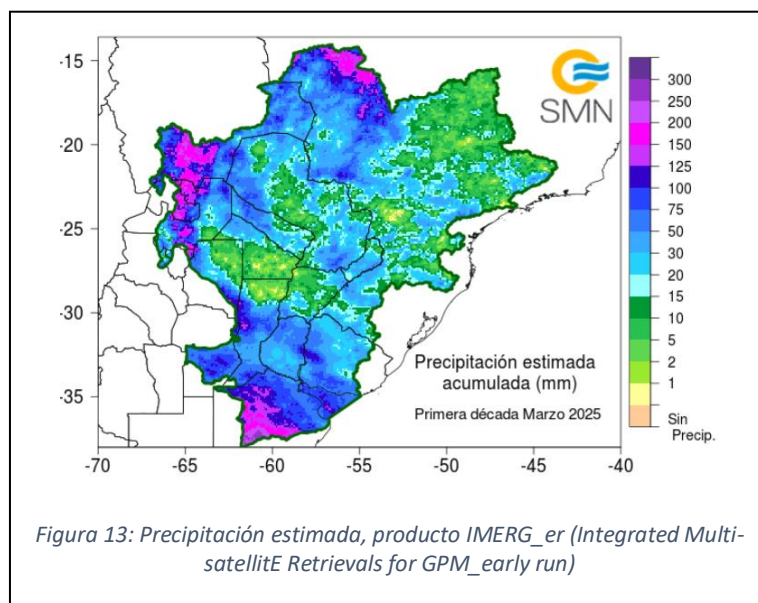
### 7.3. Información climática monitoreo

Al igual que la información existente para la caracterización climática, la información que se elabora rutinariamente para el monitoreo climático es muy amplia y se basa principalmente en datos de la red del SMN, y para análisis a escala mensual se incluyen datos de otras redes. Estos productos se elaboran en forma semiautomática, debido a ciertas limitaciones en la integración de los procesos para la lectura de los datos para la generación de los productos y su posterior publicación. Los productos van desde información a nivel de la estación, mapas, informes, reportes, entre otros. La Figura 13 muestra un ejemplo de información local y la Figura 14 a nivel de país.





Asimismo, se utilizan productos basados en sensores remotos (por ejemplo, estimaciones satelitales de precipitación), que complementan las observaciones in situ y permiten mejorar la cobertura espacial. Un ejemplo se presenta en la Figura 15, a partir



de datos de IMERG-er. A partir de IMERG-er y datos in situ se elabora el producto SQPE-OBS (Hobouchian et al., 2021) que se publica diariamente en el sitio web del SM.

Con la implementación de CLISYS, se espera optimizar la producción de algunos productos. Sin embargo, será necesario aún establecer mecanismos que permitan otro tipo de análisis de forma automatizada por fuera de CLISYS dado que existen algunas limitaciones del sistema para la elaboración de productos a medida y de cálculos derivados que implican varias variables y/o cálculos estadísticos asociados. Al igual que se mencionó en el punto anterior es clave utilizar herramientas existente de código abierto, minimizar el uso de planillas de cálculo que requieran actualizar formulas y datos manualmente.

También se hace un monitoreo de los diferentes forzantes globales y regionales que tienen influencia en la variabilidad de las condiciones climáticas en el país. Al respecto, hay informes semanales y mensuales. Un ejemplo sobre el resumen de los principales indicadores que se monitorean se presenta en la Figura 16.

Resumen					
		MONITOREO	PRONÓSTICO	INFLUENCIA EN EL PRONÓSTICO	
ESTACIONALES	ENOS (El Niño Oscilación del Sur)	Neutral	Se espera que se mantengan las condiciones neutrales durante el próximo trimestre .	X	Estado Actual del índice:
	IOD (Dipolo del Océano Índico)	Neutral	Se espera que se mantenga neutral.	X	
SUB-ESTACIONALES	MJO (Oscilación de Madden-Julian)	Activa	Se prevé que la señal debilitada se propague hacia el océano Pacífico central.	X	Fase positiva / Activa
	SAM (Oscilación Antártica)	Positiva	Se prevé que se mantenga en fase positiva.	Se pueden favorecer precipitaciones inferiores a las normales en el sur del Litoral y el centro-norte de Buenos Aires. También se pueden favorecer anomalías positivas de temperatura en la Patagonia y negativas hacia el norte del país.	Fase Neutral / Inactiva
	SIS (Patrón de Variabilidad Subestacional )	Neutral	No disponible	No disponible	Fase Negativa
					X = sin influencia en el pronóstico

2025 | Año de la Reconstrucción de la Nación Argentina

Figura 14. Resumen indicadores forzantes estacionales y sub-estacionales.

## 7.4. Pronóstico climático trimestral

El SMN elabora mensualmente el pronóstico trimestral de precipitación y temperatura media. Para la elaboración del mismo se evalúan diferentes previsiones numéricas basadas en modelos dinámicos y estadísticos, sumado al análisis de la evolución de las condiciones oceánicas y atmosféricas. Este pronóstico de consenso indica la probabilidad de ocurrencia dividida en tres categorías, según los terciles: inferior a lo normal, normal y superior a lo normal. El pronóstico se acompaña con el mapa de los valores de los terciles para que el usuario pueda identificar cuáles son los valores que separan estas categorías.

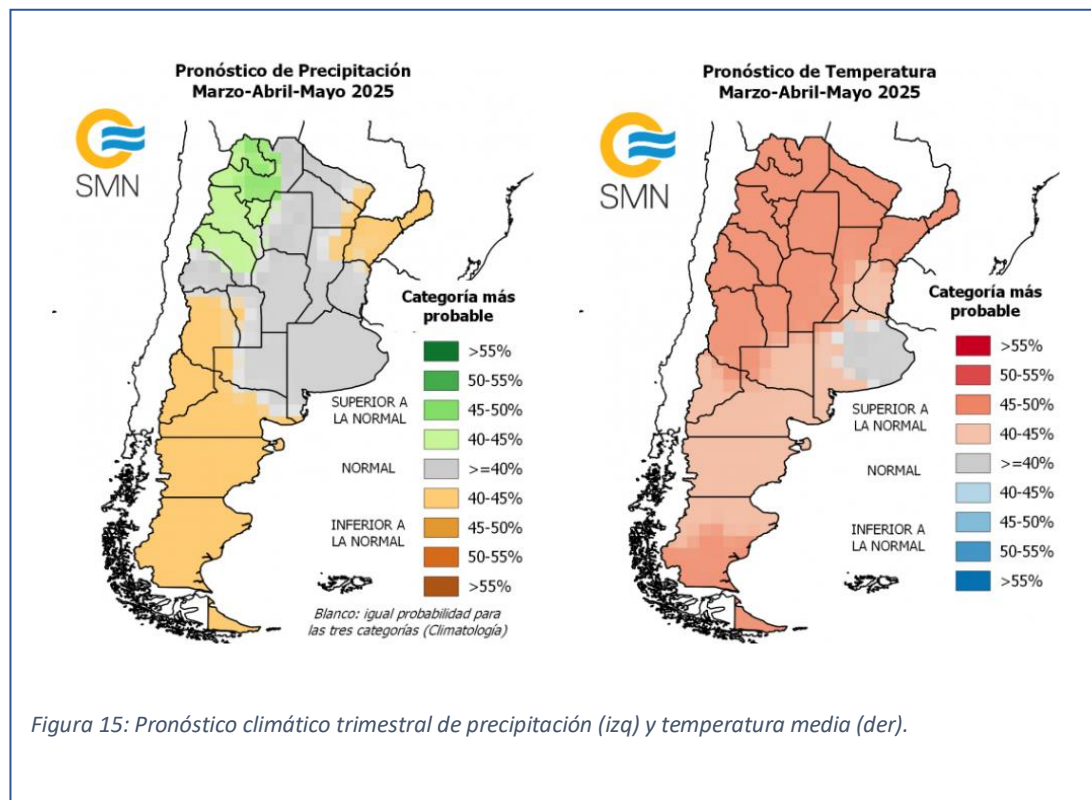


Figura 15: Pronóstico climático trimestral de precipitación (izq) y temperatura media (der).

Se menciona que para la elaboración del pronóstico oficial no se hace una primera integración numérica de las diferentes previsiones sino que se hace a partir de una interpretación gráfica. En este sentido, no hay un sistema integrado que permita la

visualización en paneles tanto de la previsión como de la calidad de cada pronóstico, sino que se elabora una presentación y tabla resumida.

Dos de los modelos que se evalúan son elaborados en el SMN utilizando la herramienta CPT desarrollada por el IRI. Uno de ellos es puramente estadístico en tanto que el otro, integra el modelo estadístico con una calibración a un modelo global (Herrera, 2022). Asimismo, se hace una evaluación continua del pronóstico de consenso versus los pronósticos recién mencionados y los pronósticos de los centros mundiales que tienen sus datos abiertos, que no son todos. Esto último, es también una limitante a la hora de elaborar pronósticos calibrados a la región o presentar los resultados de una manera personalizada.

Hay algunos productos elaborados para regiones particulares, como para el sudoeste de la provincia de Buenos Aires y para el área de interés de la hidroeléctrica Yacyreta. En el primer caso se realizó un ajuste al modelo estadístico a la región, en el segundo, se generan diferentes visualizaciones a partir de pronósticos de los centros globales.

Otro aspecto relevante, es el plazo de pronóstico. El pronóstico oficial es a 3 meses, sin embargo se realizan análisis con un plazo de hasta 6 meses.

## **8. Aspectos metodológicos**

El sistema de información climática para la RHBS necesita nutrirse de observaciones apropiadas, que deben estar disponible en el momento oportuno e integrarse de manera eficaz. Los datos deben integrarse en la base de datos, donde sus registros sean consistentes. El control de calidad de los datos in situ permitirá identificar datos que pueden ser erróneos o sospechosos.

Debido a las limitaciones existentes en cuanto a las observaciones in situ, su integración y calidad, se relevará la existencia de otras redes de observación meteorológica que puedan existir en la región y que aún no se encuentren integradas con la red del SMN. Como parte del relevamiento se incluirán, además de los aspectos vinculados a qué variables se registran, cómo se recopilan y transmiten los datos, otros aspectos claves como inicio de las observaciones, tipo de instrumental, características del sitio de emplazamiento de la estación, entre otros.

En el caso de las redes de tercero que ya están integrando sus datos al SMN, como INTA, Ministerio de Producción de Chaco, se realizara un reporte de la calidad de los datos a partir de los análisis que integran los sistemas OBSMET y CLISYS.

Dada la densidad espacio/temporal de las observaciones, puede ser necesario incorporar datos provenientes de otras fuentes de información como datos satelitales o de reanálisis como por ejemplo ERA5, CHIRPS, GPM. La incorporación de dichos datos será considerada de acuerdo a la disponibilidad, frecuencia de actualización y representatividad en la región. Lovino y otros (2022) estudiaron algunos de estos set de datos para su aplicación en la RHBS.

El monitoreo y diagnóstico se basará en los datos in-situ disponibles, pudiendo parte de ellos ser limitados para algunos usos, especialmente para los que se necesitan disponer de series de tiempo largas. Las variables consideradas serán precipitación y temperatura. El monitoreo tomará como referencia para el cálculo de anomalías el período 1991-2020, de acuerdo a las recomendaciones de la OMM (2017).

En cuanto al diagnóstico se pretende integrar y ampliar la información existente en cuanto a los eventos extremos de temperatura y precipitación (ie.: Carril et al., 2016,

Lovino et al., 2014, 2018; Müller et al., 2021, Sgroi et al, 2021; Skansi y otros., 2013) y a su relación con el ENOS (Berri et al., 2002; Müller, 2006; Penalba y Rivera, 2016; Rusticucci et al., 2017) y otros forzantes regionales y globales. A partir de esta información y la existente en el SMN, se explorarán formas resumidas de presentación e integración de las mismas. En este sentido, se necesita sistematizar y disponibilizar de manera ágil información que puede ser utilizada por los profesionales del SMN para la elaboración del pronóstico trimestral e informes. Por otro lado, algunos datos pueden presentarse de manera apropiada en la plataforma que se establezca para el acceso público.

El sistema se nutrirá de información científica relevante por lo cual debe contemplarse un mecanismo de actualización, que permita que los últimos avances que se generan en la academia puedan transferirse a las operaciones. Este punto hacia adentro del SMN, tiene un circuito claro pero no así con estudios externos, en parte por falta de personal. Este punto puede también encontrar una solución a partir de procesos automáticos y convenios con universidades o institutos.

En el caso de los pronósticos climáticos es necesario establecer los lineamientos que permitan adaptar la información actual a la escala de la cuenca, complementando con información sobre la probabilidad de ocurrencia de umbrales relevantes, como el percentil 20 y 80 marcando situaciones extremas. Asimismo, complementar con información referente a la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos de precipitación y temperaturas, por ejemplo en el caso de precipitación hay estudios que indican que una mayor frecuencia de eventos diarios intensos en años Niño y de sequías en años Niña (Robledo, 2012, Penalba et al, 2016) que se complementan con estadísticas elaboradas en

el SMN. Un abordaje estadístico, contribuirá al conocimiento de la variabilidad climática en la región.

Para extremos de temperaturas, diversos estudios avanzaron en el estudio de la variabilidad interanual de eventos extremos de temperatura. Collazo (2020), desarrolló un modelo de predicción estacional de ocurrencia de días cálidos- noches frías, basado en técnicas estadísticas, sin contemplar la persistencia de los eventos. Otros estudios como los de Müller (2000, 2006) analizan las características de las olas de frío según años las fases del evento ENOS. Asimismo, el SMN elabora estadísticas que informan sobre las características de los eventos de olas de calor y de frío en cuanto a su duración, intensidad, frecuencia a nivel de estación.

Otro aspecto a explorar son las técnicas de inteligencia artificial. Hay antecedentes sobre modelos de predicción de precipitación a escala mensual y trimestral basados en estas técnicas que pueden integrarse en el sistema de pronóstico.

En resumen, el sistema propuesto se basa en una integración de fuentes de datos múltiples, con validación y análisis automatizados, que permitan cubrir vacíos existentes en la RHBS y generar información climática útil para la planificación y gestión del territorio.

## **9. Plan de trabajo: actividades y cronograma**

El plan de trabajo se organiza en tres etapas principales, que agrupan un conjunto de actividades destinadas a fortalecer el sistema de observación, monitoreo y predicción en la RHBS, en el marco del desarrollo de lineamientos para la provisión de servicios climáticos por parte del SMN.

La Etapa 1 se orienta al relevamiento e integración de datos meteorológicos in situ, tanto de la red del SMN como de redes externas. La Etapa 2 se enfoca en el análisis de la variabilidad climática regional y en el desarrollo de productos de caracterización y monitoreo. Por último, la Etapa 3 está dedicada a la incorporación de pronósticos climáticos y al diseño de herramientas para su comunicación efectiva a usuarios institucionales.

A continuación, se detallan las actividades previstas en cada etapa y un cronograma tentativo para su ejecución.

#### Etapa 1: Relevamiento e integración de datos

Las actividades de esta etapa se centran en determinar los datos in.-situ que serán utilizados para la caracterización y monitoreo del clima. La incorporación de nuevos datos permitirá mejorar estos aspectos. En cuanto a los sistemas informáticos, la implementación de los sistemas OBSMET y CLISYS, permitirán procesar y analizar la calidad de los datos de manera ágil y eficiente.

- 1- Relevamiento de otras redes de observación meteorológica: se realizará un relevamiento de redes de observación meteorológica que se puedan integrarse a las redes existentes del SMN. Se recopilarán los metadatos asociados a los sitios de observación, así como también los datos históricos correspondientes. Asimismo, se gestionarán los convenios necesarios para su integración y uso.
- 2- Integración de los datos a la base de datos del SMN: esta actividad implica la carga de datos históricos en CLISYS y la configuración de los mecanismos para el ingreso en tiempo real de los datos a través del circuito de datos del SMN, cuyo monitoreo en tiempo real se realizará en OBSMET.

- 3- Análisis de los datos de temperatura y precipitación pertenecientes a las redes de terceros: se aplicará el conjunto de controles de calidad establecidos por el SMN para evaluar la calidad de los datos históricos, con foco en la completitud y detección de datos erróneos y sospechosos. Asimismo, se analizará un mes de datos en tiempo real para validar su comportamiento.
- 4- Definición de la red y complementariedad con otros datos: con base en las actividades anteriores, se definirá la red de observación que se utilizará para los diagnósticos y el monitoreo climático. Para el análisis de largo plazo, la longitud y calidad de las series serán determinantes. A partir de estudios previos se identificarán datos complementarios de precipitación a partir de sensoramiento remoto y de reanálisis para el caso de temperatura.

#### Etapa 2: Análisis de la variabilidad y desarrollo de productos climáticos

En esta etapa, se trabajará sobre las capacidades actuales del SMN para elaborar productos de caracterización y monitoreo climático. Para ello se utilizarán los datos definidos en la etapa anterior. En el caso de datos in situ, se priorizará la generación de productos a partir de CLISYS y de herramientas existentes desarrolladas en código abierto. Además, se sistematizarán antecedentes relevantes a través de esquemas de resumen (por ejemplo, estudios de variabilidad climática vinculados al ENSO).

- 5- Relevamiento de estudios de variabilidad climática en la región: se identificarán trabajos e investigaciones cuyos resultados puedan mejorar los productos actuales. Se establecerá un procedimiento para mantener actualizado un repositorio con estudios climáticos de relevantes.

- 6- Identificación de productos de caracterización y monitoreo: se identificarán los productos más pertinentes para el seguimiento del clima en la región, explorando diferentes formas de visualización.
- 7- Selección e implementación de los productos: se seleccionaran los productos climáticos a desarrollar y se establecerá una metodología para su implementación operativa.
- 8- Elaboración de estadísticas de eventos extremos de temperaturas y precipitaciones: se analizará la frecuencia, duración e intensidad de eventos extremos, tanto cálidos como fríos, así como de eventos de lluvias intensas y sequías, generando estadísticas descriptivas y comparativas, considerando también su asociación con algunos forzantes regionales o globales.

### Etapa 3: Incorporación de pronósticos y comunicación de información

En esta etapa se desarrollarán herramientas para la integración de pronósticos climáticos y su comunicación a tomadores de decisión.

- 9- Identificación de productos de pronóstico de temperatura y precipitación: se seleccionarán los productos de pronóstico más adecuados para su uso en la región, considerando escalas temporales relevantes (mensual, estacional).
- 10- Diseño del sistema de pronóstico: se definirá un sistema de organización y visualización de los productos de pronóstico, integrando diversas fuentes (modelos globales y regionales). Asimismo, se avanzará en el desarrollo de un modelo estadístico ajustado a la región.
- 11- Diseño inicial de panel gráfico con información de caracterización, monitoreo y pronóstico: se elaborará un panel gráfico que sintetice la información de

monitoreo y pronóstico, orientado a facilitar su interpretación por parte de usuarios técnicos y no técnicos.

12-Elaboración de prototipo de informe para gestores públicos: se desarrollará un modelo de informe periódico con información climática clave para la gestión pública, enfocado en alertas tempranas y toma de decisiones.

Cronograma:

	Meses																						
Actividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
<b>Etapa 1</b>																							
1. Relevamiento estaciones meteorológicas in situ en la RHBS	■	■																					
2. Integración de los metadatos y datos		■	■																				
3. Análisis de calidad de los datos de temperatura y precipitación.			■	■																			
4. Definición de la red y complementariedad con otros datos.				■	■																		
<b>Etapa 2</b>																							
5. Relevamiento de estudios sobre variabilidad climática en la RHBS.				■	■																		
6. Identificación productos de diagnóstico y monitoreo.					■	■																	
7. Selección y adaptación de los productos.							■	■	■	■	■												
8. Elaboración de estadísticas de eventos extremos de temperatura y precipitación.								■	■	■	■												

<b>Etapa 3</b>																		
9. Identificación de productos de pronóstico de temperatura y precipitación.																		
10. Diseño del sistema de pronóstico																		
11. Diseño inicial de panel gráfico con información de caracterización, monitoreo y pronóstico																		
12. Elaboración de prototipo de informe para gestores públicos																		

## 10. Conclusiones

La construcción de un sistema de información climática para la RHBS representa una contribución estratégica para fortalecer las capacidades locales de adaptación y gestión frente a la variabilidad y el cambio climático. Este trabajo representa un primer paso para fortalecer la provisión de servicios climáticos en la RHBS, centrándose en mejoras en las primeras etapas de la cadena de producción del SMN: observación, monitoreo y diagnóstico del clima. El SMN cuenta con experiencia en la elaboración de información climática, sin embargo es necesario optimizar algunos procesos para hacerlos más eficientes en vistas de poder ampliar y ajustar información a escalas más pequeñas.

La implementación de los sistemas informáticos para la gestión de datos climáticos será un hito que permitirá ir en este camino. Además, automatizar procesos que aún mantienen dedicación por parte de los técnicos y profesionales, dará la oportunidad de seguir avanzando incorporando herramientas existentes para adaptar a las necesidades propias. Se propusieron actividades que permitirán ampliar la base de datos observacionales, mejorar su integración y calidad, y sistematizar el conocimiento climático disponible, con miras a generar productos útiles para la toma de decisiones.

El desarrollo de un sistema de información climática a escala local requiere no sólo fortalecer las capacidades técnicas e institucionales, sino también avanzar hacia un proceso colaborativo con los usuarios de la información. Este trabajo sienta las bases para esa articulación, al definir los insumos, herramientas y productos iniciales que luego podrán ser validados y ajustados junto a actores clave del territorio.

Asimismo, se reconoce que la experiencia desarrollada puede servir como modelo para ser replicado en otras regiones del país con desafíos similares: baja densidad de datos, fuerte exposición a fenómenos climáticos extremos, y necesidad de información ajustada para la gestión sostenible de recursos naturales, en especial el agua.

Este enfoque incremental, basado en el fortalecimiento de capacidades existentes y en la incorporación progresiva de nuevas fuentes de datos, productos y herramientas, constituye una estrategia clave para avanzar hacia servicios climáticos más pertinentes, oportunos y sostenibles en el tiempo.

## **11. Referencias**

Berri, G. J., Flamenco, E. A., Spescha, L., Tanco, R. A., & Hurtado, R. (2002). Some effects of La Niña on summer rainfall, water resources and crops in Argentina.

- En M. H. Glantz (Ed.), *La Niña and Its impacts: Facts and speculation* (pp. 124–133). United Nations University. ISBN 92-808-1071-5.
- Carril, A. F., Penalba, O. C., Robledo, F., Re, M., Rusticucci, M., & Saurral, R. I. (2016). Extreme events in the La Plata Basin: A retrospective analysis of what we have learned during the CLARIS-LPB project. *Climatic Research*, 68(2), 95–116. <https://doi.org/10.3354/cr01374>.
- Collazo, S. (2020). *Predicción estacional de extremos climáticos de temperatura en la Argentina* [Tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires].
- CRC-SAS. (2023). Descripción de la base de datos climáticos diarios y los controles de calidad implementados en el Centro Regional del Clima para el Sur de Sudamérica. [https://www.crc-sas.org/pt/pdf/Reporte\\_CRC-SAS\\_FINAL\\_calidad\\_7jul23.pdf](https://www.crc-sas.org/pt/pdf/Reporte_CRC-SAS_FINAL_calidad_7jul23.pdf).
- Fakhruddin, B., Gluckman, P., Bardsley, A., Griffiths, G., & McElroy, A. (2021). Creating resilient communities with medium-range hazard warning systems. *Progress in Disaster Science*, 12, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2021.100203>.
- Flores, K. (2025). Generación y procesamiento de datos pluviográficos en el SMN: Desarrollo de método de digitalización (Nota Técnica SMN 2025-194). Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2980>.
- Geiger, S., & Finch, J. (2016). Making incremental innovation tradable in industrial service settings. *Journal of Business Research*, 69(7), 2463–2470. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.02.015>.

- Giraut, M., Laboranti, E., Rey, C., Fioriti, M., & Ludueña, S. (2001, abril). Cuenca propia de los Bajos Submeridionales: Creación de una unidad hídrica independiente. En Seminario Argentino-Holandés: Gestión sostenible del agua y control de inundaciones. Área Pampeana Central y Bajos Submeridionales (24 y 25 de abril de 2001, Buenos Aires, Argentina).
- Gleason Rodríguez, M., Rubio Barrios, J., Ruiz Godoy Rivera, J., & Velázquez Díaz, M. (2023). Proyectos de innovación social como estrategia para el desarrollo de competencias de estudiantes universitarios. *Revista de Educación Superior*, 51(202), 69–88. <https://doi.org/10.36857/resu.2022.202.2118>.
- Herrera, N. (2022). Pronóstico trimestral estadístico y estadístico-dinámico del Servicio Meteorológico Nacional (Nota Técnica SMN 2022-118). Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1789>.
- Herrera, N. (2024). Climatología de las olas de calor en Argentina en el período 1961/62–2022/23 (Nota Técnica SMN 2024). Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2710>.
- Hobouchian, M. P., G. Díaz, L. Vidal, Y. García Skabar, L. Ferreira, M. Maas, M. S. Rossi Lopardo, H. Veiga y M. Rugna, (2021). Ajuste de la estimación de precipitación satelital IMERG con observaciones pluviométricas en Argentina. Nota Técnica SMN 2021-105. Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1694>.
- Lovino, M., García, N. O., & Baethgen, W. E. (2014). Spatiotemporal analysis of extreme precipitation events in the Northeast region of Argentina (NEA). *Journal*

- of Hydrology: Regional Studies, 2, 140–158.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.09.001>.
- Lovino, M. A., Müller, O. V., Müller, G. V., Sgroi, L. C., & Baethgen, W. E. (2018). Interannual-to-multidecadal hydroclimate variability and its sectoral impacts in northeastern Argentina. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 3155–3174.  
<https://doi.org/10.5194/hess-22-3155-2018>.
- Lovino, M. A., Müller, G. V., Pierrestegui, M. J., Espinosa, E., & Rodríguez, L. (2022). Extreme precipitation events in the Austral Chaco region of Argentina. *International Journal of Climatology*, 42(11), 5985–6006.  
<https://doi.org/10.1002/joc.7572>.
- Marengo, J. A., Bidegain, M., Blacutt, L., Cavalcanti, I. F. A., da Rocha, R. P., de Souza Custódio, M., Díaz, A., Ferreira, D. B., Grimm, A. M., Krüger, L., & otros. (2023). A cold wave of winter 2021 in central South America: Characteristics and impacts. *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06701-1>.
- Mazzon, R., & Rafaeli, S. (2023). Impactos generados por la sequía 2019–2023 en la Región del Litoral argentino. *Cuadernos del CURIHAM*, (vi).  
<https://doi.org/10.35305/curiham.vi.219>.
- Müller, G. V., Nuñez, M., & Seluchi, M. (2000). Relationship between ENSO cycles and frost events within the Pampa Húmeda region. *International Journal of Climatology*, 20(13), 1619–1637.
- Müller, G. V. (2006). Variabilidad interanual de las heladas en la Pampa Húmeda. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(1), 135–141.

- Müller, G. V., Lovino, M. A., & Sgroi, L. C. (2021). Observed and projected changes in temperature and precipitation in the core crop region of the Humid Pampa, Argentina. *Climate*, 9(3), 40. <https://doi.org/10.3390/cli9030040>.
- Naumann, G., Podestá, G., Marengo, J., Luterbacher, J., Bavera, D., Acosta Navarro, J., Arias Muñoz, C., Barbosa, P., Cammalleri, C., Cuartas, A., & otros. (2022). Extreme and long-term drought in the La Plata Basin: Event evolution and impact assessment until September 2022 (JRC132245). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/62557>.
- Naumann, G., Podestá, G., Marengo, J., Luterbacher, J., Bavera, D., Acosta Navarro, J., Arias Muñoz, C., Barbosa, P., Cammalleri, C., Cuartas, A., & otros. (2023). Extreme and long-term drought in the La Plata Basin: Event evolution and impact assessment until September 2022 (EUR 31381 EN). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/62557>.
- Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) & Oficina de Estadísticas de las Comunidades Europeas. (2005). Manual de Oslo: Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación (3.<sup>a</sup> ed.). Grupo Tragsa.
- Orozco, J., Ruiz, K., & Corrales, R. (2015). Manual para la gestión de la innovación. Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2011). Del conocimiento climático a la acción: Marco Mundial para los Servicios Climáticos. Potenciar la capacidad de los más vulnerables (OMM N.º 1065).
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2014a). Plan de ejecución del Marco Mundial para los Servicios Climáticos.

- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2014b). Climate Data Management System Specifications (OMM N.º 1131).
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018). Guía de prácticas climatológicas. (OMM N.º 100). Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2019). Marco Mundial para los Servicios Climáticos: Propuesta de valor.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2020: Guidance on Operational Practices for Objective Seasonal Forecasting. WMO – No. 1246. ISBN 978-92-63-11246-9.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2024). Estado del clima en América Latina y el Caribe 2023 (OMM N.º 1351). ISBN 978-92-63-31351-5.
- Penalba, O. C., & Rivera, J. A. (2016). Precipitation response to El Niño/La Niña events in Southern South America – Emphasis in regional drought occurrences. *Advances in Geosciences*, 42, 1–14. <https://doi.org/10.5194/adgeo-42-1-2016>.
- Robledo, F. (2012). Extremos diarios de precipitación en la Argentina: Cambios observados en la segunda mitad del siglo XX y asociación con la temperatura superficial del océano tropical [Tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires].
- Sgroi, L. C., Lovino, M. A., Berbery, E. H., & Müller, G. V. (2021). Characteristics of droughts in Argentina's core crop region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, 2475–2490. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2475-2021>.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2023). Estadísticas climatológicas normales: República Argentina – Periodo 1991–2020 (847 págs.).

- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2024). Plan estratégico 2024–2027.
- Skansi, M. M., Brunet, M., Collazo, S., & otros. (2013). Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change*, 100, 295–307.
- Skansi, M. M., et al. (2023). Estado del clima en Argentina 2022: Reporte final. Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2378>.
- Skansi, M. M., et al. (2024a). Estado del clima en Argentina 2023: Reporte final. Servicio Meteorológico Nacional. <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/2740>.
- Skansi, M. M., et al. (2024b). Estado del clima en Argentina 2024: Reporte preliminar. Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2879>.
- Sosa, D. (2012). El agua, excesos y déficits, en la producción agrícola de secano y pecuaria dentro de la cuenca inferior del río Salado [Tesis doctoral, Universidad de La Coruña]. <http://hdl.handle.net/2183/10158>.
- Souto, J. E. (2015). Business model innovation and business concept innovation as the context of incremental innovation and radical innovation. *Tourism Management*, 51, 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2015.05.017>.
- Thorne, P. W., Diamond, H. J., Goodison, B., et al. (2018). Towards a global land surface climate fiducial reference measurements network. *International Journal of Climatology*, 38, 2760–2774. <https://doi.org/10.1002/joc.5458>.

## **Resumen**

Este trabajo plantea una primera etapa en la construcción de un sistema de información climática para la Región Hídrica de los Bajos Submeridionales (RHBS), con el objetivo de fortalecer los servicios climáticos a escala local. La elección de esta región se basa en su alta vulnerabilidad a la variabilidad climática, y su localización en una zona con limitaciones en la cobertura observacional, lo que refuerza la necesidad de mejorar las capacidades para el diagnóstico y monitoreo climático.

El enfoque se centra en mejorar los primeros eslabones de la cadena de producción del Servicio Meteorológico Nacional (SMN): datos, diagnóstico, monitoreo y predicción. A partir del relevamiento y la integración de nuevas fuentes de datos in situ, y su complementariedad con otros datos, como los provenientes de sensores remotos, se propone consolidar y adaptar productos de monitoreo existentes, así como diseñar herramientas que integren información climática actual, histórica y futura para la toma de decisiones. El plan de trabajo contempla una secuencia de actividades orientadas a mejorar la representación, la calidad de la información y su aplicabilidad local. Esta iniciativa busca aportar a una provisión de servicios climáticos más pertinentes, accesibles y sostenibles para los actores locales.

## Indice

1. Introducción	1
2. Justificación	3
3. Planteo del problema	8
4. Relevamiento de antecedentes	9
5. Objetivos	13
6. Aspectos teóricos	14
6.1. Servicios climáticos	14
6.2. Sistemas de gestión de datos climáticos	19
6.3. Predicción climática	20
7. Reseña situación actual	22
7.1. Estado actual de las observaciones meteorológicas in situ	22
7.1.1. Cobertura y limitaciones de la red de observación del SMN	22
7.1.2. Gestión de los datos meteorológicos	27
7.2 Información climática caracterización	30
7.3. Información climática monitoreo	33
7.4. Pronóstico climático trimestral	36
8. Aspectos metodológicos	37
9. Plan de trabajo: actividades y cronograma	40
10. Conclusiones	46
11. Referencias	47

## **1. Introducción**

La variabilidad y el cambio climático tienen impactos en diferentes sectores socioeconómicos, pudiendo generar pérdidas y/o daños, como también ganancias. En 2009 se estableció el Marco Mundial de Servicios Climáticos (MMSC) que pone de manifiesto la importancia de contar con información climática adaptada a diferentes sectores, con el objetivo principal de permitir una mejor gestión de los riesgos vinculados a la variabilidad del clima y el cambio climático (OMM, 2011, 2014a).

El desarrollo, elaboración y publicación de un servicio climático implica diferentes pasos y una interacción y realimentación con los usuarios (OMM 2011). Los primeros eslabones de la cadena de producción abarcan las observaciones, monitoreo y predicción.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) sostiene el monitoreo del clima en Argentina principalmente a partir de los datos obtenidos de su propia red de observación. Para algunos análisis que no requieren una actualización continua de datos, se integran observaciones de otras redes de observación provenientes de instituciones nacionales o provinciales. Asimismo, se incorporan datos provenientes de sensores remotos y en menor medida de reanálisis.

Con respecto a los pronósticos climáticos, se proveen pronósticos trimestrales de precipitación y temperatura media. Para la elaboración de estos pronósticos oficiales se cuenta con pronósticos propios y con otros elaborados por centros mundiales de pronósticos y centros regionales del clima, que se evalúan mes a mes. Asimismo, se considera el conocimiento de la variabilidad climática interanual a partir de investigaciones y/o análisis propios, como estadísticas asociadas a las fases del fenómeno de El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) y del dipolo del océano Indico.

En vistas a mejorar la prestación de servicios climáticos el SMN ha ido desarrollando e implementando diferentes productos climáticos para informar a distintos sectores sensibles al clima y a la sociedad. De forma rutinaria se elaboran diversos reportes y productos climáticos que mayormente se publican en su sitio web ([www.smn.gob.ar](http://www.smn.gob.ar)) y redes sociales.

Si bien la información climática alcanza a todo el país, cuando se abordan problemáticas a escala local o regional es necesario adaptar y/o complementar dicha información. Del mismo modo, y especialmente ante situaciones extremas como periodos de sequias, se requiere la elaboración de informes especiales que integren aspectos claves de la situación actual y futura del clima.

La diversidad de climas y características geográficas y socioeconómicas de Argentina requiere diversos abordajes al momento de definir la información climática, atendiendo a las limitaciones de datos que se presenta en cada región. Para ello se requiere explorar y acceder a más datos y herramientas que permitan dar respuesta de manera ágil y sostenida a diversos requerimientos.

El desafío de promover la innovación, la mejora continua y la incorporación de nuevas tecnologías para mejorar las capacidades del SMN, en vistas de potenciar y fortalecer los servicios a la sociedad, se evidencian en su visión y metas plasmadas en sus dos últimos planes estratégicos. El último plan 2024/27 establece como visión “Aspiramos a constituir un SMN en la vanguardia científico-técnica, referente en la toma de decisiones de una sociedad que enfrenta los desafíos ambientales y del cambio climático, y que esté al servicio de los sectores productivos en cada región del país”. Para el logro de su misión y reflejar la visión en resultados, se identificaron como guía los siguientes valores: calidad, liderazgo, compromiso, comunidad e innovación (SMN 2024).

Las metas que agrupan los objetivos estratégicos se establecieron en cuatro: infraestructura, servicios, ciencia y fortalecimiento institucional. En cuanto a ciencia se establece “Orientar los desarrollos técnico-científicos teniendo en cuenta las necesidades de los usuarios, el estado del arte de la ciencia y sus condiciones de sostenibilidad”. Por otra parte, en la meta de servicios se indica “Consolidar la estrategia de provisión de información y prestación de servicios orientados a las necesidades de los usuarios, para la reducción del riesgo de desastres y el desarrollo económico y social del país, en el contexto de adaptación al cambio climático.” (SMN 2024).

Se requiere sistematizar, adaptar y ampliar la información climática elaborada y publicada por el SMN a fin de aportar a la construcción de un sistema de información climática a escala local. La información climática será un insumo para la prestación de servicios climáticos que atiendan problemáticas locales.

En este trabajo se plantea contribuir a la construcción de un sistema de información climática que pueda apoyar la toma de decisiones informadas en la Región Hídrica de los Bajos Submeridionales (RHBS). Para ello es necesario disponer de un sistema de monitoreo de las condiciones prevalentes, así como de un sistema de diagnóstico basado en el conocimiento existente y en el que resulte necesario generar a partir de investigaciones a nivel regional. A estos elementos, basados en información del periodo histórico y del presente, se suma el conocimiento del periodo futuro mediante un sistema de pronóstico ajustado a la región.

## **2. Justificación**

Los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos están siendo más frecuentes e intensos. Año tras año diversas regiones del país se ven afectadas por sequías, olas de

calor, lluvias intensas, entre otros eventos extremos. Entre 2019 y 2023, una sequía extrema afectó gran parte del territorio ocasionando diversos daños y pérdidas. Se produjo una bajante histórica del río Paraná con impactos en las comunidades, ecosistemas y diferentes actividades socioeconómicas (Naumann et al., 2022; Naumann et al 2023; Mazzon y Rafaeli, 2023; OMM, 2024; Skansi et al, 2023).

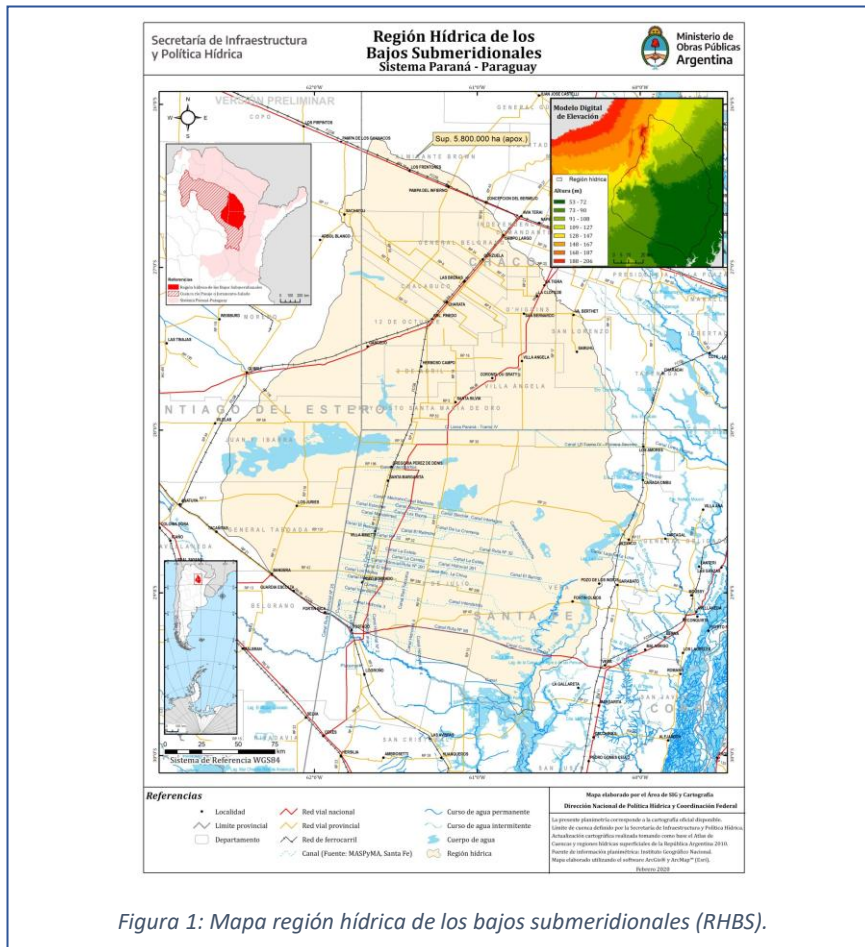
Temperaturas altas extremas fueron recurrentes en los últimos años. Se observó un aumento en la ocurrencia de eventos de olas de calor (OC), siendo la región del Litoral la que registró las OC de mayor duración (Herrera, 2024). En el verano 2021/2022 se registraron 3 eventos de OC, con un evento sin precedentes que se extendió a gran parte del territorio, con una duración de hasta 14 días y temperaturas máximas que fueron récord en 24 localidades (Skansi et al., 2023). Similarmente, durante el verano de 2022/23, el país fue testigo por primera vez de diez OC. La OC más relevante en intensidad y duración se observó tardía, durante gran parte del mes de marzo, con varias localidades quebraron sus récords de temperatura y de demanda energética (Skansi et al, 2024a).

Los inviernos también han presentado temperaturas bajas extremas, aunque con mayor variabilidad interanual. Los últimos inviernos han variado desde inviernos suaves en cuanto a lo atemperado de las temperaturas a otros más crudos. Por ejemplo en los inviernos 2021 y 2024 se han registrado ingresos de aire muy frío con temperaturas extremas y OF en casi todo el país. En 2024, se registró la OF más extensa desde 1992, hubo heladas intensas, congelamiento de superficies de agua en la zona núcleo y récords de frío en varias localidades (Skansi et al, 2024 b). En 2021 el frío fue extremo en regiones del norte y noreste del país, la OF se extendió de forma inusual hacia regiones subtropicales y tropicales del continente (Marengo et al, 2023). Se registraron eventos de

olas de fríos con temperaturas mínimas extremadamente bajas con récord de frío en las provincias de Formosa, Chaco y Corrientes, en el evento de finales de julio ([https://www.smn.gob.ar/sites/default/files/Informe\\_Especial\\_oladefrio\\_julio2021.pdf](https://www.smn.gob.ar/sites/default/files/Informe_Especial_oladefrio_julio2021.pdf)).

Contar con información climática para la prestación de servicios climáticos se vuelve cada vez más relevante a la hora de planificar y tomar acciones que permitan minimizar los posibles impactos de estos fenómenos. Un continuo monitoreo de clima y de su posible evolución permite gestionar los recursos hídricos, planificar las actividades agropecuarias, gestionar diversos riesgos asociados a los eventos extremos, para minimizar los impactos negativos y para poder sacar beneficios y ganancias en momentos oportunos.

La variabilidad climática y la vulnerabilidad de las poblaciones varían a lo largo del país. La RHBS (Figura 1) se extiende sobre la parte norte de la provincia de Santa Fe, el sur de Chaco y el sudeste de la provincia de Santiago del Estero, es una gran planicie de 54.278 km<sup>2</sup> (Giraut, y otros 2001). Se caracteriza por gran variabilidad climática, siendo afectada tanto por sequías como por inundaciones que generan importantes consecuencias negativas sobre la producción, el medioambiente y las condiciones sociales de los habitantes de la zona (Lovino y otros., 2018; Sosa, 2012). Periódicamente se registran situaciones de emergencia que requieren de rápidas respuestas por parte del Gobierno nacional, el cual debe intervenir en problemas vinculados al corto plazo pero también para llevar una planificación a mayor plazo que permita un abordaje multidimensional para brindar alternativas para revertir el escenario a largo plazo (<https://www.argentina.gob.ar/noticias/bajos-submeridionales-el-ambicioso-plan-del-gobierno-nacional-para-recuperar-un-millon-y>).



En 2018 se conformó el Comité Interjurisdiccional de la Región Hídrica de los Bajos Submeridionales (CIRHBAS) con el objeto de “promover el manejo coordinado y racional de los recursos hídricos para dar respuesta a la problemática de las inundaciones, anegamientos y sequías que afectan la región hídrica, entendida ésta como unidad de planificación, ordenamiento y gestión territorial”. En 2020 por convenio se ratifica la continuidad y se comprometen a promover la ejecución del Plan Director Hídrico (PDH) que deberá contemplar una “planificación sistémica, holística e integral” (<http://cuencasarg.org/2020/08/bajos-submeridionales/>).

El rol del clima en los impactos que se generan en la región pone de manifiesto la necesidad de contar con información climática oportuna que permita planificar y tomar decisiones tendientes a minimizar los impactos negativos del clima en las comunidades, ecosistemas y en las diversas actividades socioeconómicas. Diseñar, desarrollar e implementar un sistema de información sobre el clima es parte de la cadena de valor para la prestación de un servicio climático.

El SMN cuenta con una amplio set de datos y productos que elabora rutinariamente y que pueden ser el punto de partida para delinear el sistema de información para atender una problemática local. Hay diversa información climática elaborada en el SMN, en el Centro Regional del Clima para el Sur de Sudamérica (CRC-SAS), centros mundiales de pronóstico y la academia que se requiere sistematizar, integrar, adaptar y extender para aportar a la construcción de un sistema de información climática para la RHBS. La posterior articulación con sectores interesados permitirá ampliar y orientar el sistema para permitir una mejor gestión de los riesgos asociados al clima y apoyar la elaboración de planes asociados a la ocurrencia de eventos climáticos extremos.

Las mejoras técnicas que se incorporen en el proceso de producción del SMN a los fines de la construcción del sistema de información climática para la RHBS, implica una innovación de producto y de proceso (OCDE, 2005). A su vez es de carácter incremental o progresivo (OCDE, 2005; Orozco y otros, 2015). Este enfoque de carácter incremental permite mejorar servicios existentes, a partir de los conocimientos, la tecnología o las prácticas existentes para introducir mejoras iterativas (Geiger y Finch, 2016; Souto, 2015). La introducción de las mejoras se centra en la necesidad de adaptar un servicio según la demanda y de esta manera también permite a la institución progresar de forma constante (Orozco y otros, 2015).

Asimismo, a partir de la implementación del proyecto se plantea una innovación de tipo social (Gleason Rodriguez y otros, 2023). El fin del sistema de información climática es apoyar decisiones que redundan en mejoras en las condiciones sociales y de vida de la población de la cuenca.

### **3. Planteo del problema**

La RHBS se ve afectada frecuentemente por eventos climáticos extremos que tienen impactos en distintos sectores socioeconómicos. Si bien el SMN cuenta con un amplio set de datos, información y productos que elabora rutinariamente para comunicar a distintos usuarios, en general no abordan cuestiones de escala local. La mayor limitante en este sentido es la disponibilidad y gestión de datos como base para la caracterización y el monitoreo del clima, como así también la escala temporal y espacial de los pronósticos climáticos trimestrales.

El desarrollo e implementación de un sistema de información adaptado localmente requiere introducir mejoras en los procesos de producción para la generación de productos de caracterización, monitoreo y predicción del clima. La implementación de dichas mejoras necesita de sistemas informáticos que permitan gestionar los datos, elaborar y actualizar regularmente los productos, e incorporar nuevos desarrollos a partir de los avances técnicos y científicos.

En vistas de la implementación del PDH para la RHBS y ante la necesidad de dar respuesta a decisores políticos y gestores surge la siguiente pregunta: ¿qué mejoras se pueden implementar en los primeros eslabones de la cadena de producción de servicios climáticos del SMN, a fin de contribuir a la implementación de un sistema de información climática para la RHBS?

#### **4. Relevamiento de antecedentes**

Existe diversa información climática que producen organismos oficiales a nivel nacional, regional y global. Los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMNs) elaboran y publican rutinariamente información sobre el clima en sus respectivos países. Un aspecto clave para la definición de los productos es la disponibilidad de observaciones a lo largo de cada territorio, el acceso y calidad de otras fuentes de datos como así también los sistemas de gestión de datos que posean. De esta manera cada SMNs ajusta sus productos de monitoreo y caracterización del clima según la red de observación, datos complementarios y sus sistemas informáticos para el almacenamiento, control de calidad de sus datos y elaboración de productos.

En Sudamérica, si bien hay un abordaje similar en cuanto a la información que generan los países, la diversidad en cuanto a la extensión y características geográficas, sumada a la organización de los organismos públicos, introduce algunas diferencias. Por ejemplo, en el caso de Brasil el Instituto Nacional de Meteorología (INMET - <https://portal.inmet.gov.br/>) lleva adelante el monitoreo y predicción del clima a escala nacional, en tanto que existen otras instituciones públicas, privadas o mixtas que hacen foco en regiones con problemáticas comunes. Un ejemplo es el Sistema de Tecnología y Monitoreo Ambiental de Paraná (SIMEPAR - <https://www.simepar.org/>), que produce información de tiempo y clima para el estado de Paraná y que cuenta con una red de observación propia que integra a la red oficial del INMET. Asimismo, el Centro de Previsiones Meteorológicas y Estudios del Clima (CPTEC) (<https://clima.cptec.inpe.br/>) elabora información a escala nacional.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) cuenta con un Conjunto de Herramientas de Servicios Climáticos (CHSC) como uno de los elementos clave para la

implementación del Sistema de información de servicios climáticos. El CHSC proporciona herramientas informáticas, recursos de datos, orientaciones y manuales, recursos de capacitación para garantizar el desarrollo y la provisión de productos y servicios climáticos confiables, consistentes, procesables y de alta calidad.

A escala regional y global hay variada información tanto de datos, productos, pronósticos como herramientas que los SMHNs pueden utilizar para producir sus propios productos. A nivel regional existen los Centros Regionales de Clima (CRCs) que son centros de excelencia, que generan productos climáticos a escala regional con el fin de apoyar a los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHNs) a brindar mejores servicios climáticos. Los CRC crean productos climáticos regionales, como predicciones a largo plazo, monitoreo climático, y servicios de datos climáticos (<https://community.wmo.int/en/activity-areas/climate-services/regional-climate-centres>). En Sudamérica, el CRC para el Sur de América del Sur (CRC-SAS – [www.crc-sas.org](http://www.crc-sas.org)), es la instancia regional en apoyo al país. El CRC-SAS integra los seis SMHN del sur de Sudamérica (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay).

Por otra parte, a nivel mundial existen los Centros Mundiales de Producción de Pronósticos a Largo Plazo (GPC-LRF por sus siglas en inglés) designados por la OMM. Actualmente hay 15 centros designados cuyos pronósticos se ponen a disposición a través del Centro Líder de Pronóstico a Mediano Plazo (<https://www.wmolc.org/>), que es coordinado por el Centro de Predicción Climática (CPC) / Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), de Estados Unidos y por Administración Meteorológica de Corea, además de su propio sitio web. En el caso de América del Sur, hay un único centro designado que es el CPTEC. Otros centros que ofrecen previsiones estacionales globales y que no son GPC-LRF son el Instituto Internacional de

Investigación sobre el Clima y la Sociedad (IRI) de Estados Unidos (<https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/seasonal-climate-forecasts/>), y el Centro sobre el Clima del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC), de la República de Corea (<https://www.apcc21.org/?lang=en>).

En particular el IRI ha desarrollado una Herramienta de Predicción Climática - CPT por sus siglas en inglés- de libre acceso que es utilizada por la mayor parte de los SMHNs en Sudamérica. Este software permite construir un modelo de previsión climática estacional, validarlo y elaborar previsiones con datos actualizados. Utilizando correcciones de estadísticas de salida del modelo (MOS) a las predicciones climáticas del modelo de circulación general (GCM), o para producir previsiones utilizando campos de temperaturas de la superficie del mar o predictores similares. Asimismo, permite otros análisis como de correlación canónica (CCA), regresión de componentes principales (PCR) o regresión lineal múltiple (MLR) sobre cualquier dato y para cualquier aplicación.

Asimismo, vinculado a los sistemas de pronóstico, se definió el Centro principal de la OMM para el sistema de verificación normalizado de pronósticos a largo plazo (LC-SVSLRF), que es coordinado conjuntamente por la Oficina de Meteorología de Australia y el Servicio Meteorológico de Canadá. Este centro presenta información relevante en cuanto al desempeño de los pronósticos estacionales generados por cada GPC-LRF. ([https://www.wmolc.org/seasonVrfyHindDmmeUI/plot\\_VrfyHIND\\_DMME](https://www.wmolc.org/seasonVrfyHindDmmeUI/plot_VrfyHIND_DMME))

Por otra parte, el Servicio de Cambio Climático Copernicus – C3S (<https://climate.copernicus.eu/>) proporciona información fidedigna sobre el clima pasado, presente y futuro en Europa y el resto del mundo. Diversos set de datos, información climática y herramientas pueden considerarse para la elaboración de otros productos derivados a escala más pequeña.

En cuanto a los sistemas de gestión de datos, los mismos han ido evolucionando con el avance de los sistemas informáticos. La implementación en los SMHNs también es muy dispar entre países dependiendo tanto de las capacidades de infraestructura tecnológica como de los recursos humanos dedicados a estos temas. En la actualidad hay sistemas con diferentes alcances en cuanto a sus funcionalidades. Algunos sistemas son de uso abierto, y otros son bajo licenciamiento. Entre los CDMS reportados por la OMM se mencionan:

- CLISYS: desarrollado y con soporte de Meteo France Internacional. (<https://www.mfi.fr/fr/systemes/?id=5>).
- CLIDATA: desarrollado en el Instituto Hidrometeorológico de República Checa. (<https://www.clidata.cz/>)
- CLIMSOFT: propuesto y mantenido por Centro Africano de Aplicaciones Meteorológicas para el Desarrollo (ACMAD). (<https://climsoft.org/>)
- CLIWARE: propuesto y mantenido por Instituto Ruso de Investigación Hidrometeorológica. (<http://cliware.meteo.ru/meteo/CliWareDoc.html>)

En el caso del CRC-SAS cuyo sistema operativo es responsabilidad del SMN, se ha desarrollado e implementado una base de datos, en lenguaje PostgreSQL (CRC-SAS-2023-001). Posee diversas funcionalidades desarrolladas todas en código abierto.

Para facilitar el análisis de los datos climáticos se ha desarrollado diferentes paquetes en lenguaje R (<https://www.r-project.org/>) o en programas que se comparten a partir de github. Estas librerías son recursos que permiten optimizar los tiempos que implican desarrollos propios. Varios códigos se pueden vincular a las base de datos propias e incluso facilitar acceso y procesamiento de datos satelitales, y otros datos a nivel global. Algunos paquetes son:

Climact2: se basa en el software RClimDEX desarrollado por el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI) de CCI/CLIVAR/JCOMM de la OMM. ClimPACT es el Software para el cálculo de índices de extremos climáticos incluyendo SPI y SPEI ( <https://github.com/ARCCSS-extremes/climact2>)

ClimIndVis: proporciona un conjunto de funciones fáciles de usar para la generación de productos de índices climáticos para datos observacionales, de reanálisis y de predicción estacional. (<https://github.com/Climandes/ClimIndVis>).

R-Instat: software estadístico (<https://r-instat.org/index.html>); (<https://github.com/IDEMSIInternational/R-Instat>)

Climatol Climate Tools: contiene funciones para el control de calidad, homogeneización y relleno de datos faltantes de series climatológicas y para la obtención de resúmenes y cuadrículas climatológicas de las series resultantes. También proporciona funciones para realizar diferentes gráficos climáticos. (<https://www.climatol.eu/> ).

## **5. Objetivos**

### Objetivo general

Contribuir a la implementación de un sistema de información climática (monitoreo, diagnóstico y pronóstico) como aporte a la toma de decisiones en la Región Hídrica de los Bajos Submeridionales.

### Objetivos específicos

- Instrumentar un sistema de monitoreo y diagnóstico de las condiciones climáticas en la RHBS.

- Definir los lineamientos para la construcción de un sistema de pronóstico climático (temperaturas y precipitación) a mediano plazo, desarrollado sobre la base de los últimos avances científicos.
- Elaborar un prototipo de informe climático sintético orientado a decisores políticos y gestores vinculados a la planificación y gestión del territorio.

## 6. Aspectos teóricos

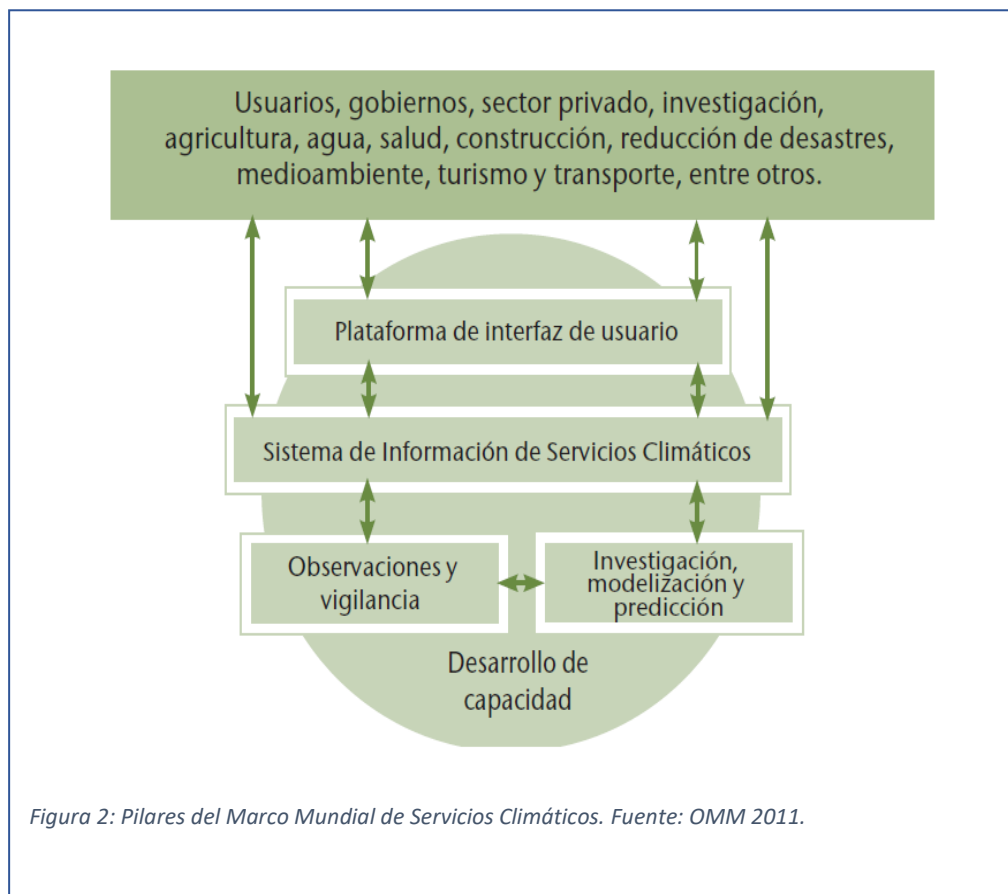
### 6.1. Servicios Climáticos

El equipo especial de alto nivel sobre el marco Mundial de los Servicios climáticos (MMSC) definió los *servicios climáticos* como “información climática preparada y suministrada para satisfacer las necesidades de los usuarios” (OMM, 2011). La prestación de un servicio requiere un nivel de participación suficiente así como un mecanismo de acceso eficaz y debe responder a las necesidades de los usuarios.

El MMSC se basa en cinco pilares (OMM 2011, OMM 2014a) (Figura 2):

- *Plataforma de interfaz de usuario*: que es la estructura mediante la cual los usuarios, los investigadores y los proveedores de información interactúan a todos los niveles;
- *Sistema de información de servicios climáticos (SICS)*: es el mecanismo a través del que se recopila, almacena y procesa regularmente información (pasada, presente y futura) sobre el clima, con el fin de crear productos y servicios que permitan apoyar la adopción de decisiones, en diferentes actividades socioeconómicas sensibles al clima. El SICS constituye un medio que permite transformar los resultados de las investigaciones y los avances tecnológicos en información climática mejorada para fines operativos;

- *Observaciones y vigilancia*: se refiere a la recopilación, gestión y difusión de las observaciones climáticas y de otros datos que se consideren necesarios para satisfacer las necesidades de los usuarios finales. Este pilar ayuda a garantizar que las observaciones climáticas se realicen, gestionen y difundan, acompañadas de los metadatos pertinentes;
- *Investigación, modelización y predicción*: necesarias para mejorar continuamente la calidad científica de la información climática, proporcionando una base empírica para determinar las repercusiones del cambio climático y la variabilidad del clima;
- *Desarrollo de capacidad*: para satisfacer los requisitos básicos para que permitan llevar a cabo cualquier actividad relacionada con los servicios climáticos.



Asimismo, se define:

*Datos climáticos*: observaciones climáticas históricas y en tiempo real así como resultados de modelos directos referentes a períodos históricos y futuros. Todos los datos climáticos deberán ir acompañados de información sobre la manera en que se obtuvieron estas observaciones y resultados de modelos (“metadatos”).

*Producto climático*: síntesis derivada de datos climáticos. Un producto combina datos climáticos con conocimientos climáticos para añadirles valor.

*Información climática*: datos climáticos, productos climáticos y/o conocimientos climáticos.

Otro aspecto en la prestación de los servicios climáticos se relaciona a la escala geográfica, se definen tres escalas: mundial, regional y nacional. Cada una de ellas orientada a diferentes funciones que a su vez se retroalimentan. En la Figura 3 se ilustra esta vinculación y principales usuarios.

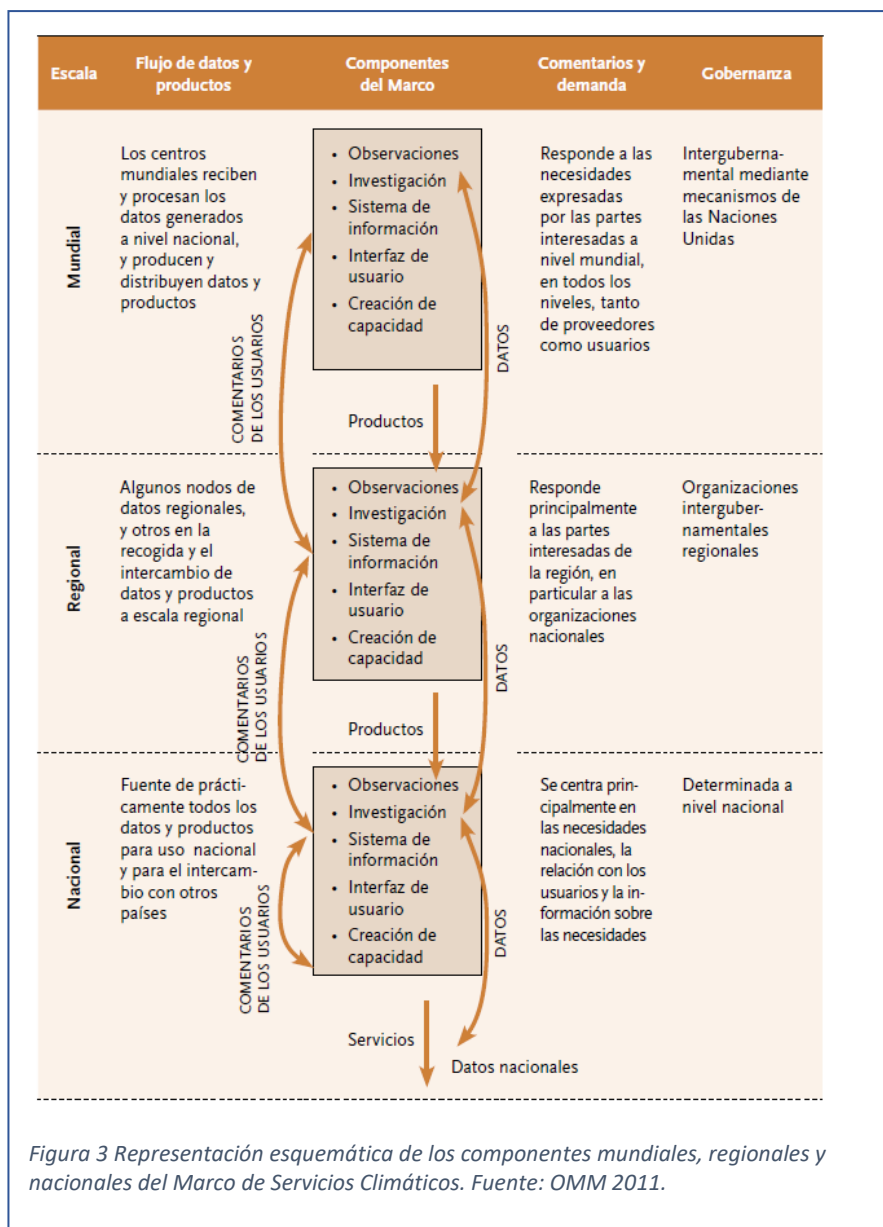


Figura 3 Representación esquemática de los componentes mundiales, regionales y nacionales del Marco de Servicios Climáticos. Fuente: OMM 2011.

Los diferentes pilares del MMSC están vinculados e interactúan constantemente. La Figura 4 representa la cadena de valor de los servicios climáticos. En la misma se aprecia el rol del SISC como insumo clave para la producción de servicios orientados a diferentes sectores.

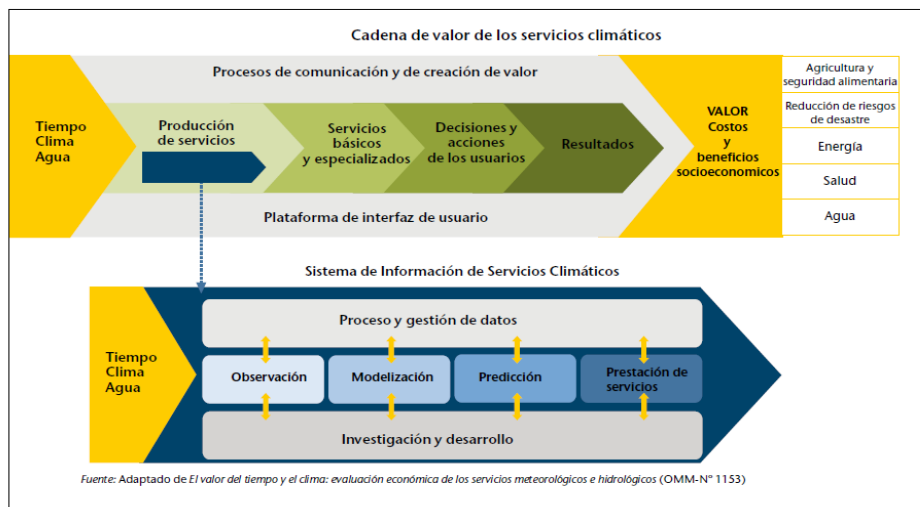


Figura 4: Cadena de valor de los servicios climáticos.

Fakhruddin y otros (2021), muestran la cadena de valor indicando la necesidad de una integración de los sistemas de información meteorológica, climática e hídrica (Figura 5). Similarmente a la Figura 4, los tres primeros eslabones de la cadena asociados a la elaboración de información climática comprenden datos, vigilancia y predicción. Fortalecer estos eslabones es clave para avanzar en la prestación de servicios.

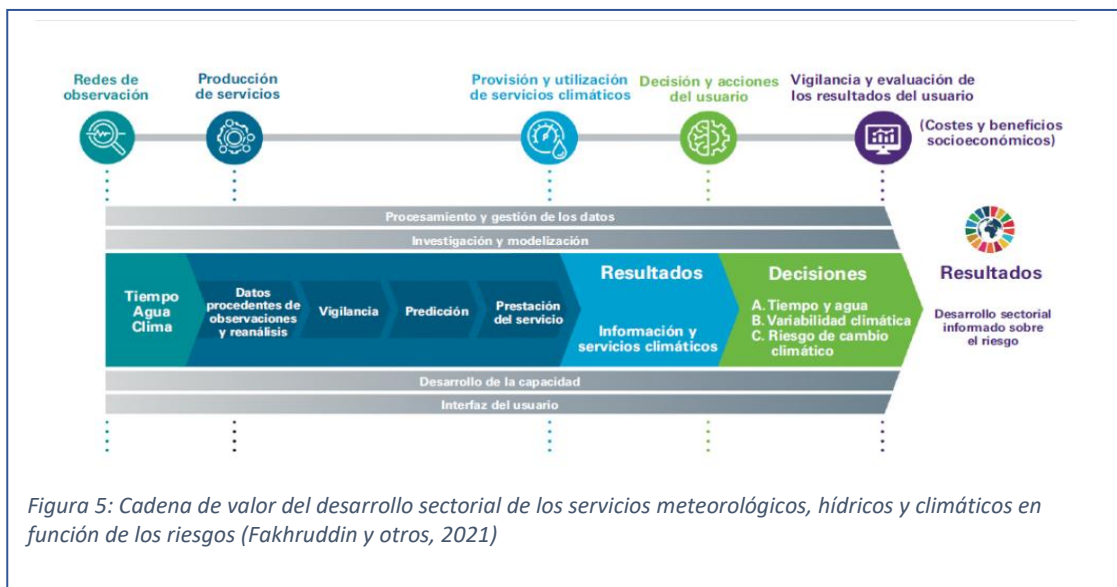


Figura 5: Cadena de valor del desarrollo sectorial de los servicios meteorológicos, hídricos y climáticos en función de los riesgos (Fakhruddin y otros, 2021)

## 6.2 Sistemas de gestión de datos climáticos

A los fines de gestionar los datos climáticos se establecen Sistemas de Gestión de Datos Climáticos (CDMS por sus siglas en inglés) los cuales constituyen una de las herramientas claves para mantener series temporales de variables climáticas a largo plazo, de alta calidad y confiables. Un CDMS se define como “un sistema informático integrado que facilita el archivo, la gestión, el análisis, la distribución y la utilización eficaces de una amplia gama de datos climáticos integrados" (OMM, 2014b). La funcionalidad de un CDMS, puede comprender más de un paquete de software.

Las componentes principales de un CDMS se presentan en la Figura 6 y se describen a continuación (OMM, 2014b):

- **Gobernanza del CDMS:** Consiste en políticas y procesos de gobernanza necesarios para establecer y gestionar fuentes autorizadas de datos climáticos y servicios relacionados. Incluye políticas de datos, sostenibilidad, propiedad intelectual, entrega de datos y datos de terceros.

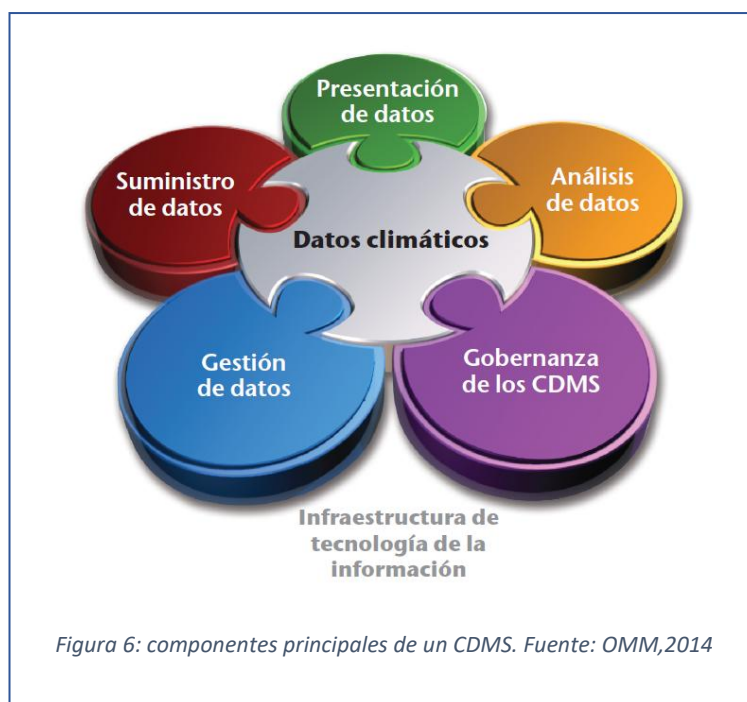


Figura 6: componentes principales de un CDMS. Fuente: OMM,2014

- **Gestión de datos:** Aborda la funcionalidad requerida para gestionar eficazmente los datos climáticos, incluyendo la ingestión y extracción de datos, rescate de datos, control de calidad de observaciones, evaluación de calidad y gestión de metadatos climáticos.

- **Entrega de datos:** Se refiere a la funcionalidad necesaria para entregar datos climáticos, incluyendo datos y metadatos.

- **Análisis de datos:** involucra una amplia variedad de técnicas analíticas que se aplican a los datos climáticos y pueden dar lugar a la generación de una serie de productos de datos derivados. Algunos ejemplos: análisis estadístico, espacial y de imágenes, homogenización de datos.

- **Presentación de datos:** Representa diversas formas que permiten comunicar información relacionada con el clima. Por ejemplo: informes, reportes, gráficos dinámicos.

- **Infraestructura de TI:** Representa las funcionalidades necesarias para soportar un CDMS, incluyendo infraestructura de aplicaciones, operaciones de servicio y plataforma de computación.

### **6.3 Predicción climática**

La predicción climática es una estimación sobre las condiciones climáticas futuras en diferentes escalas temporales (meses a años) y espaciales (global, regional o local). Se basa en el uso de modelos climáticos, que representan el comportamiento del sistema climático y sus interacciones. Los avances en el conocimiento del clima y la mejora en la capacidad computacional, han permitido que los modelos hayan ganado complejidad y

precisión. Las predicciones climáticas estiman la evolución probable de ciertos elementos climáticos en períodos que van desde un mes hasta varios meses. (OMM, 2018).

Los modelos climáticos pueden ser simples o complejos. Los modelos estadísticos o empíricos se basan en relaciones entre variables predictoras, como la temperatura superficial del mar, y la variable a predecir como la precipitación en un trimestre. Los predictores se identifican mediante el análisis físico de los mecanismos que controlan la variable a predecir (OMM, 2020). Estos métodos tienen varias ventajas: requieren pocos recursos computacionales, son fáciles de implementar operativamente y están ajustados a las observaciones, lo que corrige sesgos en los valores medios. Además, pueden generar predicciones tanto determinísticas como probabilísticas. Sin embargo, presentan limitaciones: asumen que el sistema climático es estacionario, por lo que no representan bien tendencias y variaciones a largo plazo; tienen dificultades para reproducir la variabilidad observada de las variables predichas; y, al basarse generalmente en relaciones lineales, no capturan adecuadamente las interacciones no lineales del sistema climático (OMM, 2020).

Los modelos climáticos globales (MCG) analizan y acoplan el sistema climático a nivel mundial, mientras que los modelos regionales se centran en áreas más pequeñas. La predicción estacional dinámica requiere una gran cantidad de recursos computacionales y acceso a una infraestructura avanzada tanto para realizar las predicciones como para generar las condiciones iniciales. Este proceso implica la asimilación e integración en tiempo real de observaciones globales in situ y satelitales. Entre sus ventajas, destaca que no está limitada por suposiciones de linealidad, a diferencia de los métodos empíricos. Además, representa de manera más completa los diversos procesos climáticos que influyen en la variabilidad estacional y permite simular una mayor variedad de

comportamientos, ya que se basa en principios físicos en lugar de depender únicamente de datos observacionales, por lo cual pueden prever patrones climáticos que nunca hayan sido registrados (OMM, 2020). Otra ventaja es que el uso de ensembles permite cuantificar mejor la incertidumbre en los pronósticos y estimar probabilidades de distintos escenarios climáticos (OMM, 2020).

Cuando se combinan métodos estadísticos y dinámicos, se dice que el enfoque es híbrido. Asimismo, puede haber intervención experta de los pronosticadores, elaborando una predicción de consenso.

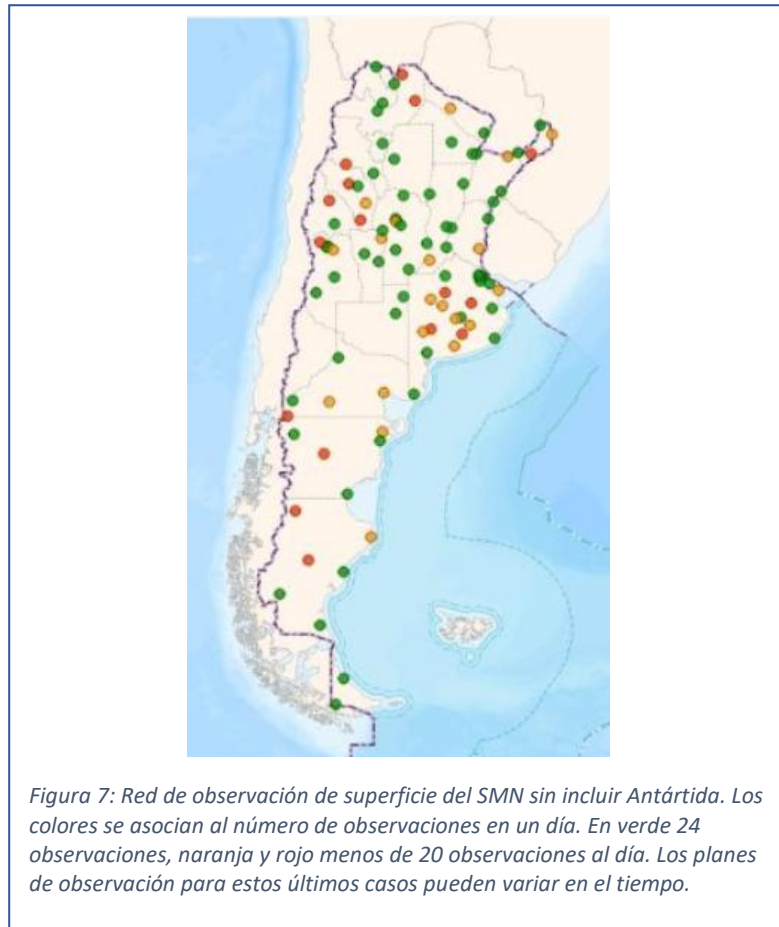
## **7. Reseña situación actual**

### **7.1. Estado actual de las observaciones meteorológicas in situ**

#### **7.1.1. Cobertura y limitaciones de la red de observación del SMN**

El SMN mantiene una red de observación de variables meteorológicas de superficie, que en algunos sitios iniciaron hace más de 100 años. Todos los sitios de medición se establecen siguiendo estándares y protocolos que establece la OMM.

Actualmente, la red de estaciones de observación está integrada por 125 estaciones sinópticas de superficie. Estas estaciones son convencionales, es decir, las observaciones son realizadas por un observador meteorológico. Además, se están sumando estaciones meteorológicas automáticas. (Figura 7).



Las estaciones meteorológicas convencionales, dependiendo sus características, tienen diferentes planes de labor. Alrededor del 60% realizan mediciones cada hora durante las 24 hs del día, en tanto que otras varían su plan de mediciones de acuerdo al tipo de estación (por ejemplo climática). Asimismo, puede haber cambios en la frecuencia de observación asociada a reducción de personal. Generalmente el tipo de plan de mediciones en los puntos que no son de 24 hs es de mediciones horarias entre las 6:00 hs y 21:00 hs o cada 3 o 6 hs, incluyendo al menos 3 observaciones principales (9:00 hs, 15hs y 21 hs). El último requerimiento es indispensable desde el punto de vista climático para obtener los valores medios diarios, las temperaturas extremas tanto mínimas como máximas, y la precipitación en 24 hs que es informada a las 9 Hs.

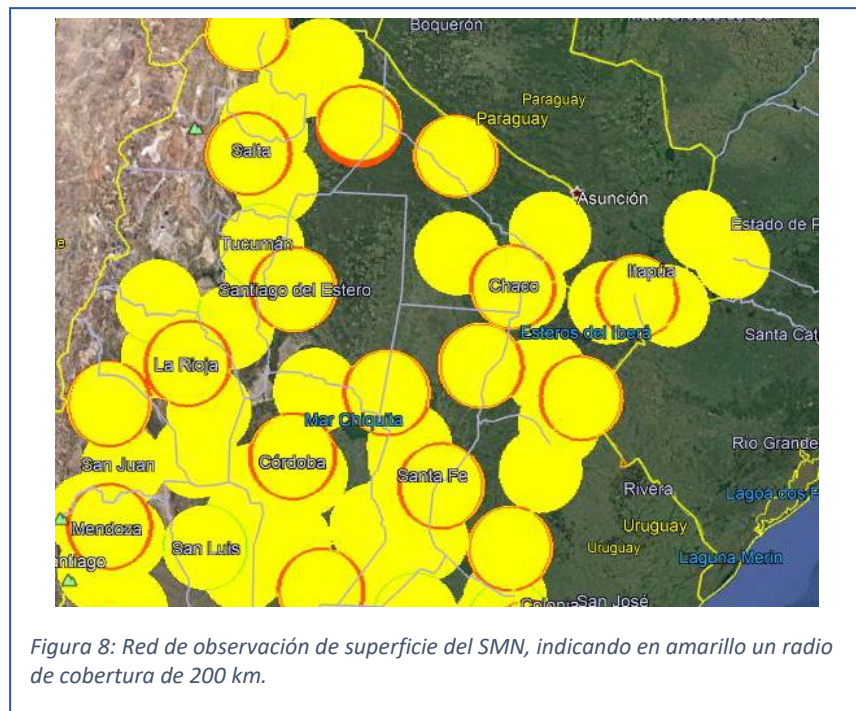
En cuanto al tipo de parámetros que se registran en las estaciones manuales son precipitación, nubosidad, temperatura, humedad, viento, estado del tiempo, visibilidad, presión, heliofania. En algunas estaciones además se incluyen otro tipo de mediciones como la evaporación, la temperatura del suelo y la profundidad de la napa freática.

En particular, en el caso de la precipitación además de la lluvia acumulada, se realiza una medición continua a partir de los pluviómetros. Sin embargo, estos equipos se han ido degradando y quedaron la mayor parte fuera de servicio. Esta medición es clave a la hora de determinar la intensidad de la precipitación pero requiere de procesos posteriores que han hecho que mucha información quede pendiente de digitalizar, más allá que los procesos para esto han evolucionado (Flores, 2025).

En el caso de las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) los instrumentos registran y transmiten observaciones automáticamente. Las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) del SMN registran y transmiten datos cada 10 minutos, con excepciones puntuales configuradas a intervalos de 1 minuto según requerimientos específicos. La diferencia en los parámetros que se obtienen respecto a las estaciones convencionales radica en variables como la nubosidad, el estado del tiempo y la visibilidad, que son estimadas por el observador humano.

Queda visible que si bien la cobertura espacial de la red de observación del SMN alcanza a todo el territorio nacional, su distribución es irregular, algunas regiones o provincias cuentan con escasos puntos de medición. Sumado a ello, no se ha dado el salto tecnológico en cuanto a la transición de estaciones manuales a EMAs, en toda la red, lo que implica que no se cubren las mediciones durante todo el día y aun así, la máxima frecuencia en la observación es de 1 hora. Esta situación tiene gran impacto cuando se requiere abordar un monitoreo y caracterización del clima en escalas espaciales locales.

En cuanto a la distancia entre los sitios de observación la OMM ha definido en diversos manuales y guías, para la definición de las redes dependiendo los requisitos del tipo de red y uso de los datos. En particular, los lineamientos para la Red Básica de Observación (GBON- sus siglas en inglés) considerando los requisitos de la Predicción Numérica Global del Tiempo y el Reanálisis, contempla 200 km como radio de influencia de una estación. Sin embargo, esta densidad es aún grande cuando se requieren analizar otros aspectos, como en el caso del monitoreo de precipitación. Considerando un radio de 200 km en las estaciones del SMN quedan vacíos siendo una de esas áreas la correspondiente a la RHBS (Figura 8).



Haciendo foco en la RHBS, se observa que es un área que carece de registros. No hay estaciones meteorológicas activas del SMN en la región, sólo se cuenta con 3 estaciones que se ubican próximas a sus límites: Ceres Aero, Reconquista Aero, y Roque Saenz Peña Aero. Estas estaciones tienen registros de más de 50 años de observaciones continuas y en el caso de la estación meteorológica de Ceres Aero, sus registros iniciaron

en 1896, siendo una de las 11 estaciones centenarias designadas por OMM (<https://wmo.int/activities/centennial-observing-stations/centennial-observing-stations>).

En cuanto a las estaciones pluviométricas (sólo registran precipitación), con el cierre de los ferrocarriles se perdieron un gran número de observaciones, que mantuvieron registros en gran parte del siglo pasado. No obstante, se mantienen otras redes pluviométricas que son operadas principalmente por los gobiernos provinciales e por agencias de aguas.

Desde hace décadas el SMN integra en su red los datos provenientes de la red de observación del Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA). Dicha red aún mantiene algunos puntos con observaciones manuales, con un plan de labor de 3 observaciones diarias, en tanto que incrementó la cantidad de sitios con estaciones meteorológicas automáticas. En el caso de la red convencional, las observaciones no se integran en tiempo cuasi real, esto impacta en la elaboración de productos de monitoreo.

Además de estaciones del INTA el SMN está integrando datos de otras redes de observación. La estrategia de integración de redes de tercero, sigue el lineamiento de redes escalonadas o por niveles (Thorne et al., 2018). Este enfoque pone en valor todas las observaciones que de acuerdo a diferentes aspectos como estabilidad, calibración, pueden contribuir a diferentes objetivos.

Como parte del plan de integración de redes de terceros se cuenta con diferentes redes que han comenzado a integrarse. Entre ellas se menciona la red de la Bolsa de Cereales de Córdoba (100 estaciones) y la red del Ministerio de Producción de la provincia de Chaco (21 estaciones). Esta última de impacto directo en la RHBS.

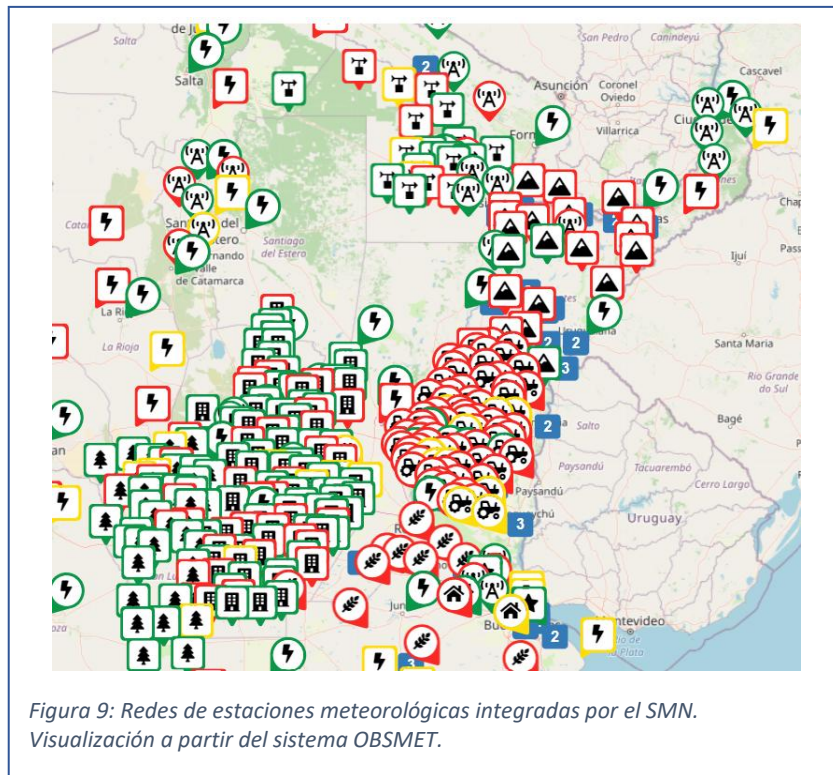
### 7.1.2 Gestión de los datos meteorológicos

Las mediciones deben entrar en tiempo y en forma a la base de datos del SMN para su evaluación y generación de productos. En la actualidad los datos provenientes de estaciones convencionales son ingestados y almacenados en una base de datos ORACLE. En este proceso se realiza un control de calidad en el momento que el dato es recepcionado, y posteriormente cada mes se realizan otra serie de controles de calidad. Este proceso permite detectar datos erróneos o sospechosos, que son evaluados y luego pueden ser validados o corregidos.

Por otra parte, los datos provenientes de las estaciones automáticas quedan almacenados en otra base de datos sin tener aplicados procesos de control de calidad. Este flujo de datos a diversas bases de datos, ha sido un obstáculo para integrar de manera regular y en diferentes productos datos provenientes de estaciones automáticas.

En este sentido el SMN se encuentra en un proceso de mejora en sus sistemas de recepción y monitoreo operativo de adquisición y calidad de los datos, como así también de la gestión de los datos climáticos. Se ha definido un nuevo circuito de datos que se encuentra en fase testeo y que permite integrar en una misma plataforma los datos de observación in-situ, tanto los provenientes de observaciones manuales como automáticas. Para la integración, control y monitoreo en tiempo real se ha optado por el sistema OBSMET.

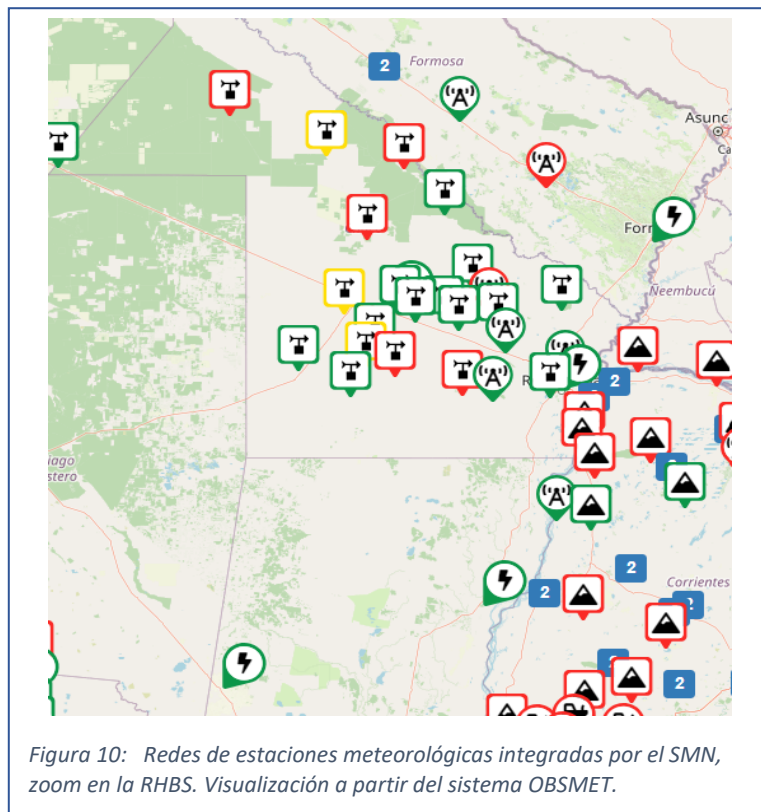
OBSMET es un Sistema de recopilación, procesamiento y monitoreo de observaciones meteorológicas de superficie desarrollado por MFI (<https://www.mfi.fr/es/sistemas-meteorologicos/?id=2>). A partir de la implementación de OBSMET, aún en fase de testeo, se ha dado el primer gran salto integrando los datos propios y los de otras redes contribuyentes, con un monitoreo de su calidad en tiempo real. En la Figura 9 se presenta el estado de agregación de redes en el noreste del país. El color asignado a cada sitio de observación, en el caso de no ser verde, indica una anomalía que puede indicar datos faltantes, dudosos o erróneos de acuerdo a los controles de calidad que se han definido, los cuales aún están en etapa de testeo.



La integración de datos de redes de tercero depende de las capacidades de infraestructura tecnológica de los organismos que las operan. En este sentido, por ejemplo no se están integrando toda la red de estaciones automáticas del INTA y en el caso de las observaciones manuales no se integran en tiempo real, por lo cual no se

visualizan en este aplicativo. Similarmente, hay redes pluviométricas que tienen registros largos pero que no se integran en forma diaria aunque sí en tiempo diferido. Un ejemplo es la red de APA en Chaco.

Al focalizar en la RHBS, se destaca que casi no hay un impacto para el monitoreo en la RHBS. En Santa Fe y Santiago del Estero se mantiene la falta de datos, al menos cuando se pretende generar información de actualización más frecuente que la mensual (Figura 10).



En cuanto a la base de datos histórica, como se mencionó anteriormente, actualmente integra los datos provenientes de estaciones convencionales. A partir de una interfaz se pueden generar diversos reportes que han sido definidos según requerimientos internos para facilitar la consulta de datos y resúmenes mensuales. Una de las debilidades del actual sistema es la trazabilidad del dato, ya que ante una corrección se indica el

cambio pero no se mantiene el dato previo. Otro punto es la generación de gráficos de manera automática.

Como parte de la actualización de los sistemas, se encuentra en proceso la implementación de CLISYS. Esta migración permite integrar todos los datos que se reciben en el SMN, pasando en primera instancia por OBSMET. Para el caso de datos de estaciones convencionales o pluviométricas que no transmiten en tiempo real, se prevé la inclusión directamente en CLISYS.

La implementación de CLISYS es una oportunidad para mejorar los servicios climáticos. Entre sus ventajas incluye controles automatizados en tiempo diferido que consideran test asociados a cambios temporales como test espaciales. Asimismo, da trazabilidad a los datos dado que mantiene los datos que se puedan haber modificado debido a errores, y también permite configurar cálculos simples y automatizarlos. En la siguiente sección se mencionará las mejoras para la caracterización y monitoreo del clima.

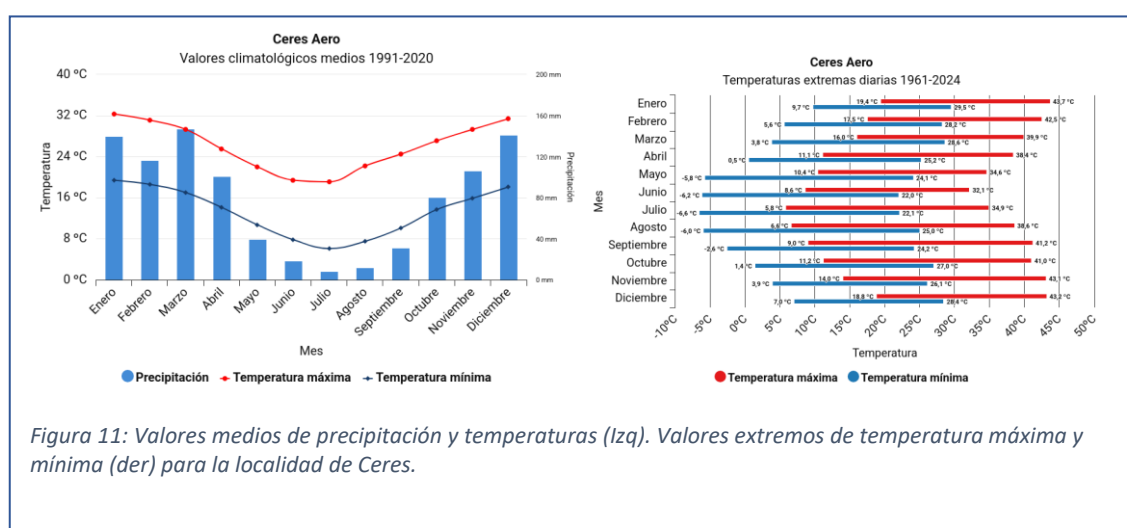
## **7.2. Información climática caracterización**

Diversos productos son elaborados en el SMN a los fines de caracterizar el clima y de comprender la variabilidad climática en cada región. Los análisis se basan principalmente en los datos in-situ, aunque para estudios especiales pueden complementarse a partir de otras fuentes de información.

Cada diez años se elaboran las estadísticas de diez años y las normales climáticas. La información que contienen estas publicaciones incluye valores medios y extremos de los parámetros meteorológicos de superficie, como así también valores asociados al número de días con lluvia, niebla, entre otros fenómenos, tanto de la red del SMN como para

algunos puntos del INTA. Los cálculos se realizan siguiendo los lineamientos establecidos por la OMM. Las estadísticas climatológicas normales 1991-2020 (SMN, 2023) se encuentran accesibles desde el repositorio del SMN (<https://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/2506>).

Asimismo, en el sitio web se publican gráficos de algunos parámetros a nivel de estación meteorológica (<https://www.smn.gov.ar/estadisticas>), por ejemplo, valores medios y extremos de precipitación, temperatura, eventos extremos de calor y frío. Un ejemplo para la localidad de Ceres se presenta en la Figura 11.



Además de presentarse la información a nivel puntual se elaboran mapas que cubren todo el país, mostrando campos medios de las variables como así también las tendencias observadas (Figura 12). Parte de esta información se actualiza anualmente, en tanto que las estadísticas se actualizan cada 10 años. Los procesos para las actualizaciones, en general, son semi-automáticos y se hacen utilizando diferente software.

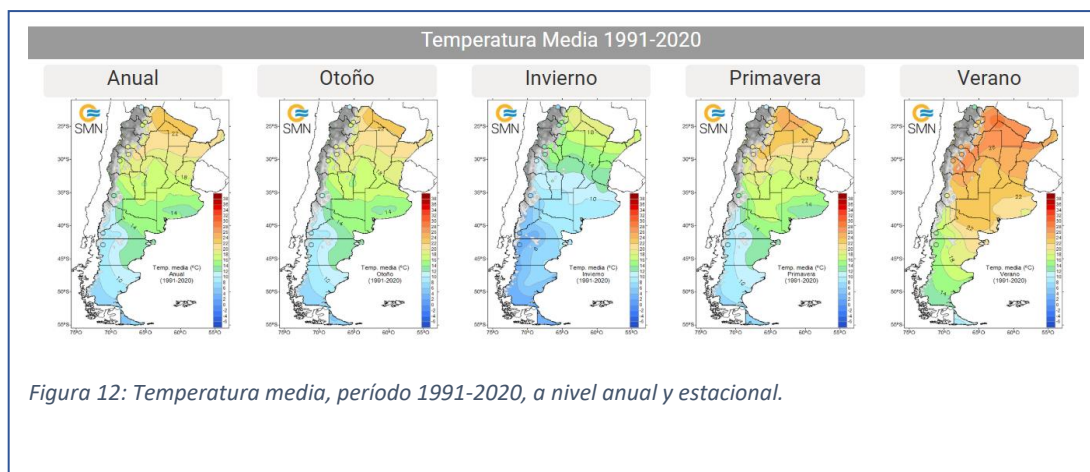


Figura 12: Temperatura media, período 1991-2020, a nivel anual y estacional.

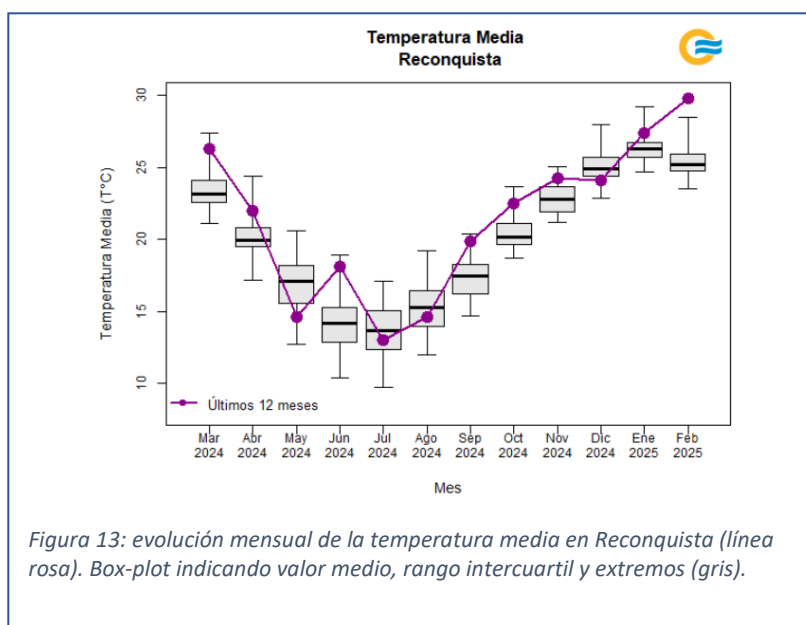
Además de estos productos, se realizan diferentes análisis que contribuyen al conocimiento de la variabilidad climática. Parte de esta información también se presenta en el sitio web, en particular análisis simples en relación al comportamiento de la temperatura y la lluvia según las fases del ENOS ([https://www.smn.gob.ar/como\\_nos\\_afecta](https://www.smn.gob.ar/como_nos_afecta)). Otros análisis asociados al ENOS o forzantes regionales como el Dipolo del Océano Indico, no han sido publicados, eventualmente se presentan en las reuniones de tendencia climática o en presentaciones que se realizan a diferentes instituciones según necesidades en particular.

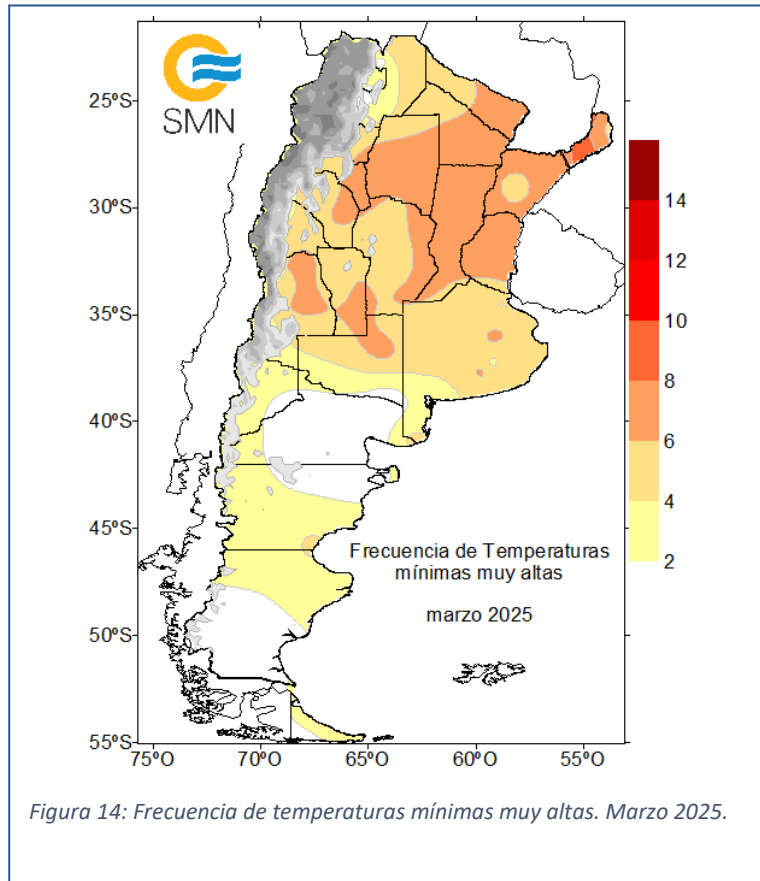
Al igual que para los productos de monitoreo, las herramientas para el análisis son diversas. Aún se mantienen en varios casos el uso de planillas Excel, en tanto que hay se hay desarrollado programas, mayormente en lenguaje R, que facilitan la elaboración de algunos productos. Esto plantea una debilidad en cuanto a la agilidad y optimización de recursos para la elaboración de los productos. Se debe avanzar en la migración a procesos automatizados o semiautomatizados, aprovechando herramientas existentes como el paquete ClimInvis, códigos implementados en el CRC-SAS, entre otros.

A partir de la implementación de CLISYS, varios cálculos y productos podrán automatizarse. El sistema posee un módulo para el cálculo de las normales climáticas y otros cálculos y visualizaciones a partir de datos históricos, como los índices de extremos climáticos, tablas de contingencia, entre otros.

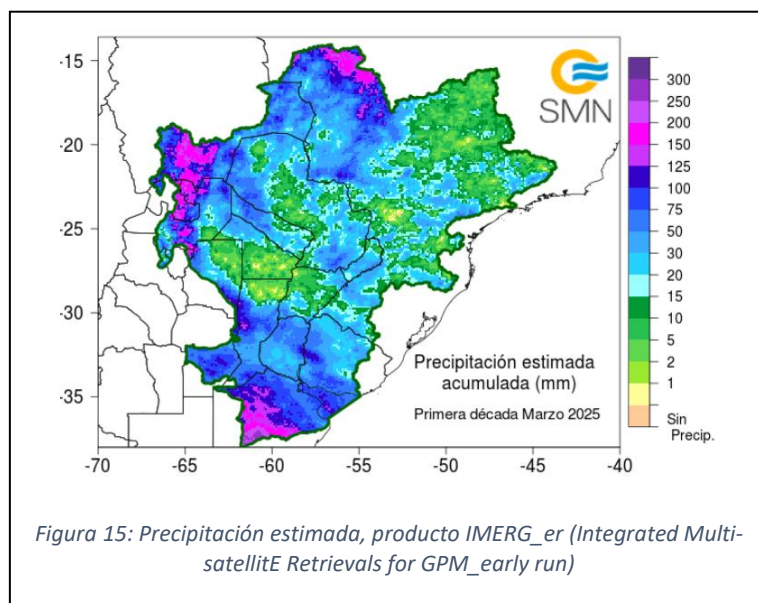
### 7.3. Información climática monitoreo

Al igual que la información existente para la caracterización climática, la información que se elabora rutinariamente para el monitoreo climático es muy amplia y se basa principalmente en datos de la red del SMN, y para análisis a escala mensual se incluyen datos de otras redes. Estos productos se elaboran en forma semiautomática, debido a ciertas limitaciones en la integración de los procesos para la lectura de los datos para la generación de los productos y su posterior publicación. Los productos van desde información a nivel de la estación, mapas, informes, reportes, entre otros. La Figura 13 muestra un ejemplo de información local y la Figura 14 a nivel de país.





Asimismo, se utilizan productos basados en sensores remotos (por ejemplo, estimaciones satelitales de precipitación), que complementan las observaciones in situ y permiten mejorar la cobertura espacial. Un ejemplo se presenta en la Figura 15, a partir



de datos de IMERG-er. A partir de IMERG-er y datos in situ se elabora el producto SQPE-OBS (Hobouchian et al., 2021) que se publica diariamente en el sitio web del SM.

Con la implementación de CLISYS, se espera optimizar la producción de algunos productos. Sin embargo, será necesario aún establecer mecanismos que permitan otro tipo de análisis de forma automatizada por fuera de CLISYS dado que existen algunas limitaciones del sistema para la elaboración de productos a medida y de cálculos derivados que implican varias variables y/o cálculos estadísticos asociados. Al igual que se mencionó en el punto anterior es clave utilizar herramientas existente de código abierto, minimizar el uso de planillas de cálculo que requieran actualizar formulas y datos manualmente.

También se hace un monitoreo de los diferentes forzantes globales y regionales que tienen influencia en la variabilidad de las condiciones climáticas en el país. Al respecto, hay informes semanales y mensuales. Un ejemplo sobre el resumen de los principales indicadores que se monitorean se presenta en la Figura 16.

Resumen					
		MONITOREO	PRONÓSTICO	INFLUENCIA EN EL PRONÓSTICO	
ESTACIONALES	ENOS (El Niño Oscilación del Sur)	Neutral	Se espera que se mantengan las condiciones neutrales durante el próximo trimestre .	X	Estado Actual del índice: Fase positiva / Activa Fase Neutral / Inactiva Fase Negativa X = sin influencia en el pronóstico
	IOD (Dipolo del Océano Índico)	Neutral	Se espera que se mantenga neutral.	X	
SUB-ESTACIONALES	MJO (Oscilación de Madden-Julian)	Activa	Se prevé que la señal debilitada se propague hacia el océano Pacífico central.	X	
	SAM (Oscilación Antártica)	Positiva	Se prevé que se mantenga en fase positiva.	Se pueden favorecer precipitaciones inferiores a las normales en el sur del Litoral y el centro-norte de Buenos Aires. También se pueden favorecer anomalías positivas de temperatura en la Patagonia y negativas hacia el norte del país.	
	SIS (Patrón de Variabilidad Subestacional )	Neutral	No disponible	No disponible	

Figura16. Resumen indicadores forzantes estacionales y sub-estacionales.

#### 7.4. Pronóstico climático trimestral

El SMN elabora mensualmente el pronóstico trimestral de precipitación y temperatura media. Para la elaboración del mismo se evalúan diferentes previsiones numéricas basadas en modelos dinámicos y estadísticos, sumado al análisis de la evolución de las condiciones oceánicas y atmosféricas. Este pronóstico de consenso indica la probabilidad de ocurrencia dividida en tres categorías, según los terciles: inferior a lo normal, normal y superior a lo normal (Figura 17). El pronóstico se acompaña con el mapa de los valores de los terciles para que el usuario pueda identificar cuáles son los valores que separan estas categorías.

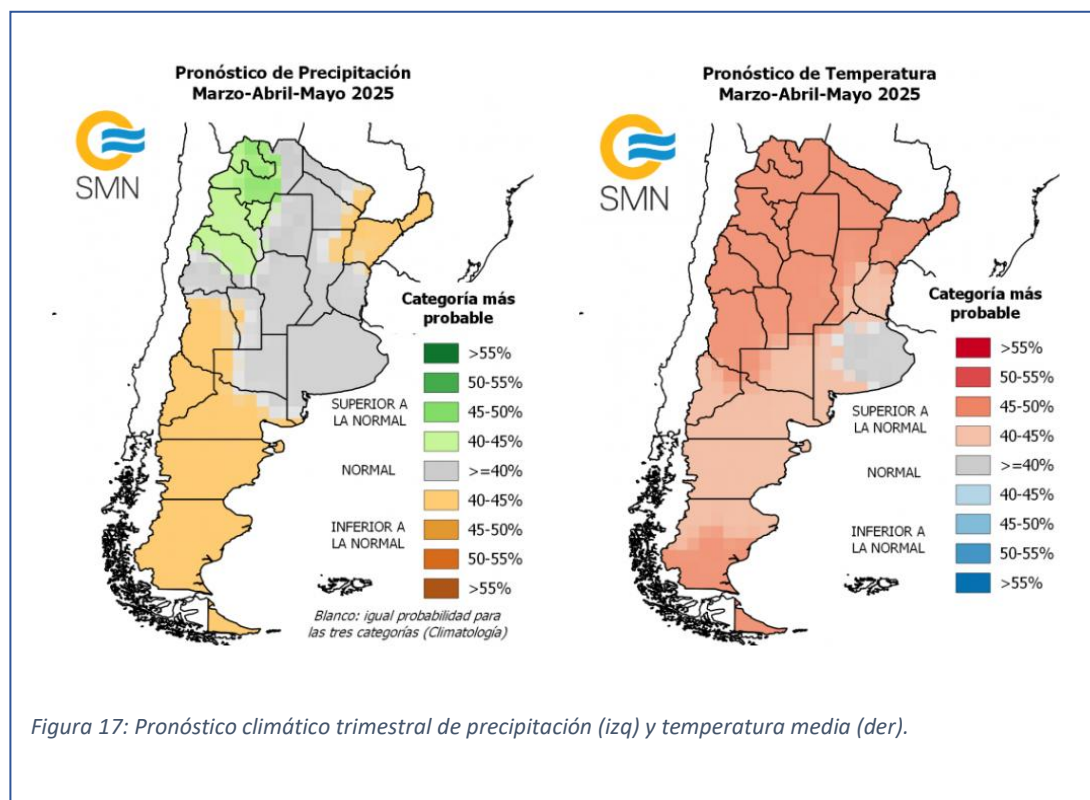


Figura 17: Pronóstico climático trimestral de precipitación (izq) y temperatura media (der).

Se menciona que para la elaboración del pronóstico oficial no se hace una primera integración numérica de las diferentes previsiones sino que se hace a partir de una interpretación gráfica. En este sentido, no hay un sistema integrado que permita la

visualización en paneles tanto de la previsión como de la calidad de cada pronóstico, sino que se elabora una presentación y tabla resumida.

Dos de los modelos que se evalúan son elaborados en el SMN utilizando la herramienta CPT desarrollada por el IRI. Uno de ellos es puramente estadístico en tanto que el otro, integra el modelo estadístico con una calibración a un modelo global (Herrera, 2022). Asimismo, se hace una evaluación continua del pronóstico de consenso versus los pronósticos recién mencionados y los pronósticos de los centros mundiales que tienen sus datos abiertos, que no son todos. Esto último, es también una limitante a la hora de elaborar pronósticos calibrados a la región o presentar los resultados de una manera personalizada.

Hay algunos productos elaborados para regiones particulares, como para el sudoeste de la provincia de Buenos Aires y para el área de interés de la hidroeléctrica Yacyreta. En el primer caso se realizó un ajuste al modelo estadístico a la región, en el segundo, se generan diferentes visualizaciones a partir de pronósticos de los centros globales.

Otro aspecto relevante, es el plazo de pronóstico. El pronóstico oficial es a 3 meses, sin embargo se realizan análisis con un plazo de hasta 6 meses.

## **8. Aspectos metodológicos**

El sistema de información climática para la RHBS necesita nutrirse de observaciones apropiadas, que deben estar disponible en el momento oportuno e integrarse de manera eficaz. Los datos deben integrarse en la base de datos, donde sus registros sean consistentes. El control de calidad de los datos in situ permitirá identificar datos que pueden ser erróneos o sospechosos.

Debido a las limitaciones existentes en cuanto a las observaciones in situ, su integración y calidad, se relevará la existencia de otras redes de observación meteorológica que puedan existir en la región y que aún no se encuentren integradas con la red del SMN. Como parte del relevamiento se incluirán, además de los aspectos vinculados a qué variables se registran, cómo se recopilan y transmiten los datos, otros aspectos claves como inicio de las observaciones, tipo de instrumental, características del sitio de emplazamiento de la estación, entre otros.

En el caso de las redes de tercero que ya están integrando sus datos al SMN, como INTA, Ministerio de Producción de Chaco, se realizara un reporte de la calidad de los datos a partir de los análisis que integran los sistemas OBSMET y CLISYS.

Dada la densidad espacio/temporal de las observaciones, puede ser necesario incorporar datos provenientes de otras fuentes de información como datos satelitales o de reanálisis como por ejemplo ERA5, CHIRPS, GPM. La incorporación de dichos datos será considerada de acuerdo a la disponibilidad, frecuencia de actualización y representatividad en la región. Lovino y otros (2022) estudiaron algunos de estos set de datos para su aplicación en la RHBS.

El monitoreo y diagnóstico se basará en los datos in-situ disponibles, pudiendo parte de ellos ser limitados para algunos usos, especialmente para los que se necesitan disponer de series de tiempo largas. Las variables consideradas serán precipitación y temperatura. El monitoreo tomará como referencia para el cálculo de anomalías el período 1991-2020, de acuerdo a las recomendaciones de la OMM (2017).

En cuanto al diagnóstico se pretende integrar y ampliar la información existente en cuanto a los eventos extremos de temperatura y precipitación (ie.: Carril et al., 2016,

Lovino et al., 2014, 2018; Müller et al., 2021, Sgroi et al, 2021; Skansi y otros., 2013) y a su relación con el ENOS (Berri et al., 2002; Müller, 2006; Penalba y Rivera, 2016; Rusticucci et al., 2017) y otros forzantes regionales y globales. A partir de esta información y la existente en el SMN, se explorarán formas resumidas de presentación e integración de las mismas. En este sentido, se necesita sistematizar y disponibilizar de manera ágil información que puede ser utilizada por los profesionales del SMN para la elaboración del pronóstico trimestral e informes. Por otro lado, algunos datos pueden presentarse de manera apropiada en la plataforma que se establezca para el acceso público.

El sistema se nutrirá de información científica relevante por lo cual debe contemplarse un mecanismo de actualización, que permita que los últimos avances que se generan en la academia puedan transferirse a las operaciones. Este punto hacia adentro del SMN, tiene un circuito claro pero no así con estudios externos, en parte por falta de personal. Este punto puede también encontrar una solución a partir de procesos automáticos y convenios con universidades o institutos.

En el caso de los pronósticos climáticos es necesario establecer los lineamientos que permitan adaptar la información actual a la escala de la cuenca, complementando con información sobre la probabilidad de ocurrencia de umbrales relevantes, como el percentil 20 y 80 marcando situaciones extremas. Asimismo, complementar con información referente a la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos de precipitación y temperaturas, por ejemplo en el caso de precipitación hay estudios que indican que una mayor frecuencia de eventos diarios intensos en años Niño y de sequías en años Niña (Robledo, 2012, Penalba et al, 2016) que se complementan con estadísticas elaboradas en

el SMN. Un abordaje estadístico, contribuirá al conocimiento de la variabilidad climática en la región.

Para extremos de temperaturas, diversos estudios avanzaron en el estudio de la variabilidad interanual de eventos extremos de temperatura. Collazo (2020), desarrolló un modelo de predicción estacional de ocurrencia de días cálidos- noches frías, basado en técnicas estadísticas, sin contemplar la persistencia de los eventos. Otros estudios como los de Müller (2000, 2006) analizan las características de las olas de frío según años las fases del evento ENOS. Asimismo, el SMN elabora estadísticas que informan sobre las características de los eventos de olas de calor y de frío en cuanto a su duración, intensidad, frecuencia a nivel de estación.

Otro aspecto a explorar son las técnicas de inteligencia artificial. Hay antecedentes sobre modelos de predicción de precipitación a escala mensual y trimestral basados en estas técnicas que pueden integrarse en el sistema de pronóstico.

En resumen, el sistema propuesto se basa en una integración de fuentes de datos múltiples, con validación y análisis automatizados, que permitan cubrir vacíos existentes en la RHBS y generar información climática útil para la planificación y gestión del territorio.

## **9. Plan de trabajo: actividades y cronograma**

El plan de trabajo se organiza en tres etapas principales, que agrupan un conjunto de actividades destinadas a fortalecer el sistema de observación, monitoreo y predicción en la RHBS, en el marco del desarrollo de lineamientos para la provisión de servicios climáticos por parte del SMN.

La Etapa 1 se orienta al relevamiento e integración de datos meteorológicos in situ, tanto de la red del SMN como de redes externas. La Etapa 2 se enfoca en el análisis de la variabilidad climática regional y en el desarrollo de productos de caracterización y monitoreo. Por último, la Etapa 3 está dedicada a la incorporación de pronósticos climáticos y al diseño de herramientas para su comunicación efectiva a usuarios institucionales.

A continuación, se detallan las actividades previstas en cada etapa y un cronograma tentativo para su ejecución.

#### Etapa 1: Relevamiento e integración de datos

Las actividades de esta etapa se centran en determinar los datos in.-situ que serán utilizados para la caracterización y monitoreo del clima. La incorporación de nuevos datos permitirá mejorar estos aspectos. En cuanto a los sistemas informáticos, la implementación de los sistemas OBSMET y CLISYS, permitirán procesar y analizar la calidad de los datos de manera ágil y eficiente.

- 1- Relevamiento de otras redes de observación meteorológica: se realizará un relevamiento de redes de observación meteorológica que se puedan integrarse a las redes existentes del SMN. Se recopilarán los metadatos asociados a los sitios de observación, así como también los datos históricos correspondientes. Asimismo, se gestionarán los convenios necesarios para su integración y uso.
- 2- Integración de los datos a la base de datos del SMN: esta actividad implica la carga de datos históricos en CLISYS y la configuración de los mecanismos para el ingreso en tiempo real de los datos a través del circuito de datos del SMN, cuyo monitoreo en tiempo real se realizará en OBSMET.

- 3- Análisis de los datos de temperatura y precipitación pertenecientes a las redes de terceros: se aplicará el conjunto de controles de calidad establecidos por el SMN para evaluar la calidad de los datos históricos, con foco en la completitud y detección de datos erróneos y sospechosos. Asimismo, se analizará un mes de datos en tiempo real para validar su comportamiento.
- 4- Definición de la red y complementariedad con otros datos: con base en las actividades anteriores, se definirá la red de observación que se utilizará para los diagnósticos y el monitoreo climático. Para el análisis de largo plazo, la longitud y calidad de las series serán determinantes. A partir de estudios previos se identificarán datos complementarios de precipitación a partir de sensoramiento remoto y de reanálisis para el caso de temperatura.

#### Etapa 2: Análisis de la variabilidad y desarrollo de productos climáticos

En esta etapa, se trabajará sobre las capacidades actuales del SMN para elaborar productos de caracterización y monitoreo climático. Para ello se utilizarán los datos definidos en la etapa anterior. En el caso de datos in situ, se priorizará la generación de productos a partir de CLISYS y de herramientas existentes desarrolladas en código abierto. Además, se sistematizarán antecedentes relevantes a través de esquemas de resumen (por ejemplo, estudios de variabilidad climática vinculados al ENSO).

- 5- Relevamiento de estudios de variabilidad climática en la región: se identificarán trabajos e investigaciones cuyos resultados puedan mejorar los productos actuales. Se establecerá un procedimiento para mantener actualizado un repositorio con estudios climáticos de relevantes.

- 6- Identificación de productos de caracterización y monitoreo: se identificarán los productos más pertinentes para el seguimiento del clima en la región, explorando diferentes formas de visualización.
- 7- Selección e implementación de los productos: se seleccionaran los productos climáticos a desarrollar y se establecerá una metodología para su implementación operativa.
- 8- Elaboración de estadísticas de eventos extremos de temperaturas y precipitaciones: se analizará la frecuencia, duración e intensidad de eventos extremos, tanto cálidos como fríos, así como de eventos de lluvias intensas y sequías, generando estadísticas descriptivas y comparativas, considerando también su asociación con algunos forzantes regionales o globales.

### Etapa 3: Incorporación de pronósticos y comunicación de información

En esta etapa se desarrollarán herramientas para la integración de pronósticos climáticos y su comunicación a tomadores de decisión.

- 9- Identificación de productos de pronóstico de temperatura y precipitación: se seleccionarán los productos de pronóstico más adecuados para su uso en la región, considerando escalas temporales relevantes (mensual, estacional).
- 10- Diseño del sistema de pronóstico: se definirá un sistema de organización y visualización de los productos de pronóstico, integrando diversas fuentes (modelos globales y regionales). Asimismo, se avanzará en el desarrollo de un modelo estadístico ajustado a la región.
- 11- Diseño inicial de panel gráfico con información de caracterización, monitoreo y pronóstico: se elaborará un panel gráfico que sintetice la información de

monitoreo y pronóstico, orientado a facilitar su interpretación por parte de usuarios técnicos y no técnicos.

12-Elaboración de prototipo de informe para gestores públicos: se desarrollará un modelo de informe periódico con información climática clave para la gestión pública, enfocado en alertas tempranas y toma de decisiones.

Cronograma:

	Meses																						
Actividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
<b>Etapa 1</b>																							
1. Relevamiento estaciones meteorológicas in situ en la RHBS	■	■																					
2. Integración de los metadatos y datos		■	■																				
3. Análisis de calidad de los datos de temperatura y precipitación.			■	■																			
4. Definición de la red y complementariedad con otros datos.				■	■																		
<b>Etapa 2</b>																							
5. Relevamiento de estudios sobre variabilidad climática en la RHBS.				■	■																		
6. Identificación productos de diagnóstico y monitoreo.					■	■																	
7. Selección y adaptación de los productos.							■	■	■	■	■												
8. Elaboración de estadísticas de eventos extremos de temperatura y precipitación.								■	■	■	■												

<b>Etapa 3</b>																		
9. Identificación de productos de pronóstico de temperatura y precipitación.																		
10. Diseño del sistema de pronóstico																		
11. Diseño inicial de panel gráfico con información de caracterización, monitoreo y pronóstico																		
12. Elaboración de prototipo de informe para gestores públicos																		

## 10. Conclusiones

La construcción de un sistema de información climática para la RHBS representa una contribución estratégica para fortalecer las capacidades locales de adaptación y gestión frente a la variabilidad y el cambio climático. Este trabajo representa un primer paso para fortalecer la provisión de servicios climáticos en la RHBS, centrándose en mejoras en las primeras etapas de la cadena de producción del SMN: observación, monitoreo y diagnóstico del clima. El SMN cuenta con experiencia en la elaboración de información climática, sin embargo es necesario optimizar algunos procesos para hacerlos más eficientes en vistas de poder ampliar y ajustar información a escalas más pequeñas.

La implementación de los sistemas informáticos para la gestión de datos climáticos será un hito que permitirá ir en este camino. Además, automatizar procesos que aún mantienen dedicación por parte de los técnicos y profesionales, dará la oportunidad de seguir avanzando incorporando herramientas existentes para adaptar a las necesidades propias. Se propusieron actividades que permitirán ampliar la base de datos observacionales, mejorar su integración y calidad, y sistematizar el conocimiento climático disponible, con miras a generar productos útiles para la toma de decisiones.

El desarrollo de un sistema de información climática a escala local requiere no sólo fortalecer las capacidades técnicas e institucionales, sino también avanzar hacia un proceso colaborativo con los usuarios de la información. Este trabajo sienta las bases para esa articulación, al definir los insumos, herramientas y productos iniciales que luego podrán ser validados y ajustados junto a actores clave del territorio.

Asimismo, se reconoce que la experiencia desarrollada puede servir como modelo para ser replicado en otras regiones del país con desafíos similares: baja densidad de datos, fuerte exposición a fenómenos climáticos extremos, y necesidad de información ajustada para la gestión sostenible de recursos naturales, en especial el agua.

Este enfoque incremental, basado en el fortalecimiento de capacidades existentes y en la incorporación progresiva de nuevas fuentes de datos, productos y herramientas, constituye una estrategia clave para avanzar hacia servicios climáticos más pertinentes, oportunos y sostenibles en el tiempo.

## **11. Referencias**

Berri, G. J., Flamenco, E. A., Spescha, L., Tanco, R. A., & Hurtado, R. (2002). Some effects of La Niña on summer rainfall, water resources and crops in Argentina.

- En M. H. Glantz (Ed.), *La Niña and Its impacts: Facts and speculation* (pp. 124–133). United Nations University. ISBN 92-808-1071-5.
- Carril, A. F., Penalba, O. C., Robledo, F., Re, M., Rusticucci, M., & Saurral, R. I. (2016). Extreme events in the La Plata Basin: A retrospective analysis of what we have learned during the CLARIS-LPB project. *Climatic Research*, 68(2), 95–116. <https://doi.org/10.3354/cr01374>.
- Collazo, S. (2020). *Predicción estacional de extremos climáticos de temperatura en la Argentina* [Tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires].
- CRC-SAS. (2023). Descripción de la base de datos climáticos diarios y los controles de calidad implementados en el Centro Regional del Clima para el Sur de Sudamérica. [https://www.crc-sas.org/pt/pdf/Reporte\\_CRC-SAS\\_FINAL\\_calidad\\_7jul23.pdf](https://www.crc-sas.org/pt/pdf/Reporte_CRC-SAS_FINAL_calidad_7jul23.pdf).
- Fakhruddin, B., Gluckman, P., Bardsley, A., Griffiths, G., & McElroy, A. (2021). Creating resilient communities with medium-range hazard warning systems. *Progress in Disaster Science*, 12, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2021.100203>.
- Flores, K. (2025). Generación y procesamiento de datos pluviográficos en el SMN: Desarrollo de método de digitalización (Nota Técnica SMN 2025-194). Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2980>.
- Geiger, S., & Finch, J. (2016). Making incremental innovation tradable in industrial service settings. *Journal of Business Research*, 69(7), 2463–2470. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.02.015>.

Giraut, M., Laboranti, E., Rey, C., Fioriti, M., & Ludueña, S. (2001, abril). Cuenca propia de los Bajos Submeridionales: Creación de una unidad hídrica independiente. En Seminario Argentino-Holandés: Gestión sostenible del agua y control de inundaciones. Área Pampeana Central y Bajos Submeridionales (24 y 25 de abril de 2001, Buenos Aires, Argentina).

Gleason Rodríguez, M., Rubio Barrios, J., Ruiz Godoy Rivera, J., & Velázquez Díaz, M. (2023). Proyectos de innovación social como estrategia para el desarrollo de competencias de estudiantes universitarios. *Revista de Educación Superior*, 51(202), 69–88. <https://doi.org/10.36857/resu.2022.202.2118>.

Herrera, N. (2022). Pronóstico trimestral estadístico y estadístico-dinámico del Servicio Meteorológico Nacional (Nota Técnica SMN 2022-118). Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1789>.

Herrera, N. (2024). Climatología de las olas de calor en Argentina en el período 1961/62–2022/23 (Nota Técnica SMN 2024). Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2710>.

Hobouchian, M. P., G. Díaz, L. Vidal, Y. García Skabar, L. Ferreira, M. Maas, M. S. Rossi Lopardo, H. Veiga y M. Rugna, (2021). Ajuste de la estimación de precipitación satelital IMERG con observaciones pluviométricas en Argentina. Nota Técnica SMN 2021-105. Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1694>.

Lovino, M., García, N. O., & Baethgen, W. E. (2014). Spatiotemporal analysis of extreme precipitation events in the Northeast region of Argentina (NEA). *Journal*

- of Hydrology: Regional Studies, 2, 140–158.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.09.001>.
- Lovino, M. A., Müller, O. V., Müller, G. V., Sgroi, L. C., & Baethgen, W. E. (2018). Interannual-to-multidecadal hydroclimate variability and its sectoral impacts in northeastern Argentina. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 3155–3174.  
<https://doi.org/10.5194/hess-22-3155-2018>.
- Lovino, M. A., Müller, G. V., Pierrestegui, M. J., Espinosa, E., & Rodríguez, L. (2022). Extreme precipitation events in the Austral Chaco region of Argentina. *International Journal of Climatology*, 42(11), 5985–6006.  
<https://doi.org/10.1002/joc.7572>.
- Marengo, J. A., Bidegain, M., Blacutt, L., Cavalcanti, I. F. A., da Rocha, R. P., de Souza Custódio, M., Díaz, A., Ferreira, D. B., Grimm, A. M., Krüger, L., & otros. (2023). A cold wave of winter 2021 in central South America: Characteristics and impacts. *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06701-1>.
- Mazzon, R., & Rafaeli, S. (2023). Impactos generados por la sequía 2019–2023 en la Región del Litoral argentino. *Cuadernos del CURIHAM*, (vi).  
<https://doi.org/10.35305/curiham.vi.219>.
- Müller, G. V., Nuñez, M., & Seluchi, M. (2000). Relationship between ENSO cycles and frost events within the Pampa Húmeda region. *International Journal of Climatology*, 20(13), 1619–1637.
- Müller, G. V. (2006). Variabilidad interanual de las heladas en la Pampa Húmeda. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(1), 135–141.

- Müller, G. V., Lovino, M. A., & Sgroi, L. C. (2021). Observed and projected changes in temperature and precipitation in the core crop region of the Humid Pampa, Argentina. *Climate*, 9(3), 40. <https://doi.org/10.3390/cli9030040>.
- Naumann, G., Podestá, G., Marengo, J., Luterbacher, J., Bavera, D., Acosta Navarro, J., Arias Muñoz, C., Barbosa, P., Cammalleri, C., Cuartas, A., & otros. (2022). Extreme and long-term drought in the La Plata Basin: Event evolution and impact assessment until September 2022 (JRC132245). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/62557>.
- Naumann, G., Podestá, G., Marengo, J., Luterbacher, J., Bavera, D., Acosta Navarro, J., Arias Muñoz, C., Barbosa, P., Cammalleri, C., Cuartas, A., & otros. (2023). Extreme and long-term drought in the La Plata Basin: Event evolution and impact assessment until September 2022 (EUR 31381 EN). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/62557>.
- Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) & Oficina de Estadísticas de las Comunidades Europeas. (2005). Manual de Oslo: Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación (3.<sup>a</sup> ed.). Grupo Tragsa.
- Orozco, J., Ruiz, K., & Corrales, R. (2015). Manual para la gestión de la innovación. Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2011). Del conocimiento climático a la acción: Marco Mundial para los Servicios Climáticos. Potenciar la capacidad de los más vulnerables (OMM N.º 1065).
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2014a). Plan de ejecución del Marco Mundial para los Servicios Climáticos.

- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2014b). Climate Data Management System Specifications (OMM N.º 1131).
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018). Guía de prácticas climatológicas. (OMM N.º 100). Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2019). Marco Mundial para los Servicios Climáticos: Propuesta de valor.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2020: Guidance on Operational Practices for Objective Seasonal Forecasting. WMO – No. 1246. ISBN 978-92-63-11246-9.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2024). Estado del clima en América Latina y el Caribe 2023 (OMM N.º 1351). ISBN 978-92-63-31351-5.
- Penalba, O. C., & Rivera, J. A. (2016). Precipitation response to El Niño/La Niña events in Southern South America – Emphasis in regional drought occurrences. *Advances in Geosciences*, 42, 1–14. <https://doi.org/10.5194/adgeo-42-1-2016>.
- Robledo, F. (2012). Extremos diarios de precipitación en la Argentina: Cambios observados en la segunda mitad del siglo XX y asociación con la temperatura superficial del océano tropical [Tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires].
- Sgroi, L. C., Lovino, M. A., Berbery, E. H., & Müller, G. V. (2021). Characteristics of droughts in Argentina's core crop region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, 2475–2490. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2475-2021>.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2023). Estadísticas climatológicas normales: República Argentina – Periodo 1991–2020 (847 págs.).

- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2024). Plan estratégico 2024–2027.
- Skansi, M. M., Brunet, M., Collazo, S., & otros. (2013). Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change*, 100, 295–307.
- Skansi, M. M., et al. (2023). Estado del clima en Argentina 2022: Reporte final. Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2378>.
- Skansi, M. M., et al. (2024a). Estado del clima en Argentina 2023: Reporte final. Servicio Meteorológico Nacional. <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/2740>.
- Skansi, M. M., et al. (2024b). Estado del clima en Argentina 2024: Reporte preliminar. Servicio Meteorológico Nacional. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2879>.
- Sosa, D. (2012). El agua, excesos y déficits, en la producción agrícola de secano y pecuaria dentro de la cuenca inferior del río Salado [Tesis doctoral, Universidad de La Coruña]. <http://hdl.handle.net/2183/10158>.
- Souto, J. E. (2015). Business model innovation and business concept innovation as the context of incremental innovation and radical innovation. *Tourism Management*, 51, 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2015.05.017>.
- Thorne, P. W., Diamond, H. J., Goodison, B., et al. (2018). Towards a global land surface climate fiducial reference measurements network. *International Journal of Climatology*, 38, 2760–2774. <https://doi.org/10.1002/joc.5458>.