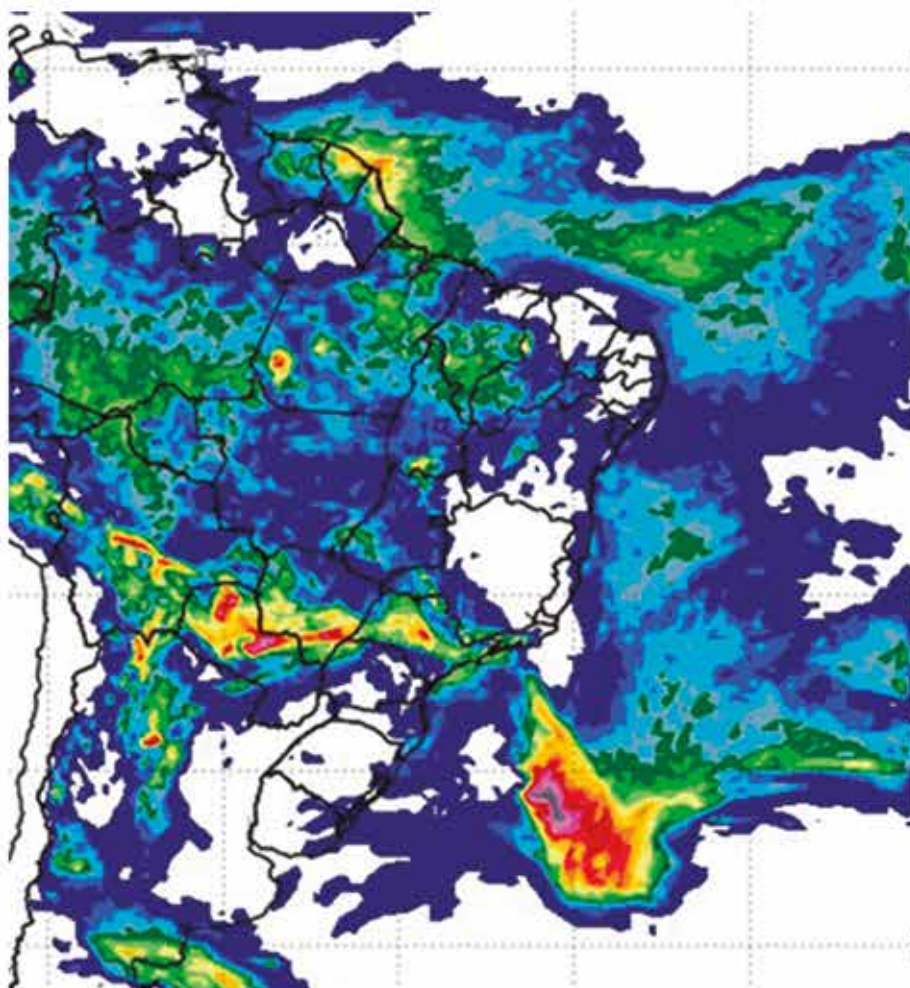




Programa Marco para la gestión sostenible de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el cambio climático
Programa Marco para gestão sustentável dos recursos hídricos da Bacia do Prata, considerando os efeitos decorrentes da variabilidade e mudanças do clima



Hidroclimatología de la Cuenca del Plata



CIC
Cuenca del Plata



FONDO PARA EL MEDIO
AMBIENTE MUNDIAL



Programa de las Naciones
Unidas para el Medio Ambiente



Para defenderlo, por eso nos gusta.

Hidroclimatología de la Cuenca del Plata

Diciembre de 2016



Hidroclimatología de la Cuenca del Plata

Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata

Hidroclimatología de la Cuenca del Plata. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata - CIC ; Estados Unidos : Organización de los Estados Americanos - OEA, 2017.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4187-08-6

1. Recursos Hídricos. 2. Gestión de los Recursos Hídricos.

CDD 333.91

Índice

11	Prefacio
15	Presentación
17	Resumen ejecutivo
25	<i>Resumo ejecutivo</i>
33	<i>Executive Summary</i>
41	Capítulo 1: Introducción
43	Capítulo 2: Sistemas de monitoreo, alerta y predicción hidroclimática
27	2.1 Sistemas de monitoreo hidrometeorológico
43	2.1.1 Observaciones meteorológicas
44	2.1.2 Observaciones hidrológicas
45	2.1.3 Radares meteorológicos en la Cuenca del Plata
49	2.1.4 Satélites meteorológicos
50	2.1.5 WIGOS
52	2.2 Sistemas de alerta y predicción hidroclimática
52	2.2.1 Argentina
63	2.2.2 Bolivia
65	2.2.3 Brasil
70	2.2.4 Paraguay
72	2.2.5 Uruguay
72	2.2.6 Foros climáticos regionales
76	2.2.7 Centro Regional de Clima para el Sur de América del Sur (CRC-SAS)
79	2.2.8 Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC)
81	2.2.9 Predicción numérica
85	Capítulo 3: Variabilidad y cambio climático
85	3.1 Variabilidad climática
91	3.2 Cambio climático
95	3.2.1 Escenarios de cambio climático
96	3.2.2 Síntesis de los resultados del ETA en la Cuenca del Plata
103	3.2.3 Breve discusión acerca del clima cercano (2011-2040)
104	3.3 Extremos climáticos
104	3.3.1 Definiendo extremos climáticos
108	3.3.2 Consecuencias de extremos climáticos

111	Capítulo 4: Conclusiones
115	Referencias
119	Anexo 1: Análisis del clima presente ETA-CRU 1961-1990
123	Anexo 2: Anomalía de la Precipitación (mm/d) 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.
129	Anexo 3: Anomalía de la temperatura del aire (°C) 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.
135	Listado de figuras
138	Listado de tablas
141	Lista de siglas y acrónimos
145	Referencias institucionales

Prefacio

La Cuenca del Plata es una de las más importantes del mundo, tanto por su extensión como por sus características socioeconómicas. Es un área de más de tres millones de kilómetros cuadrados, habitada actualmente por más de 110 millones de personas y produce más del 70% del PBI de los cinco países que la integran.

La Cuenca constituye un sistema hídrico con una notable diversidad y productividad en materia biológica, alberga el mayor corredor de humedales de América del Sur y es reconocida como una de las más importantes cuencas del mundo por la cantidad, variedad y endemismo de su ictiofauna. No obstante su riqueza, es una de las cuencas más afectadas en lo social y económico por las cíclicas inundaciones y los persistentes periodos de sequías. La relación entre la hidrología, las modificaciones en el uso del suelo y las incertidumbres respecto del clima futuro plantea una serie de desafíos para disminuir la vulnerabilidad a los desastres naturales y atender la gestión ambiental y las necesidades de la población en condiciones de pobreza y marginalidad. En este escenario, el desarrollo económico y social requerido, dentro del marco de integración regional que lo contiene, plantea la

necesidad de un gran esfuerzo en la valoración, conciencia y educación respecto de la naturaleza.

En 2001, los gobiernos de los cinco países que integran el Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC) decidieron incorporar al organismo capacidades técnicas para atender estos desafíos y concertar un Programa de Acción como guía para la gestión, donde los recursos hídricos juegan un papel clave, incluyendo las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas y sus vínculos con el uso del suelo y el clima. En este esfuerzo, que desarrolló por primera vez un enfoque integrado, las instituciones partícipes coincidieron en la necesidad de fortalecer una visión común de la Cuenca, buscando identificar y priorizar problemas comunes y sus principales causas, de manera de enfrentarlos en forma conjunta y coordinada.

En base a estos antecedentes, y con el apoyo de la SG/OEA y del PNUMA, se gestionó y obtuvo financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) para llevar a cabo el *Programa Marco para la gestión sostenible de los recursos hídricos de la Cuen-*

ca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el cambio climático (Programa Marco). El Programa fue concebido como un proceso de gestión de largo plazo, a ser ejecutado en forma coordinada por los cinco países, en el marco del CIC. Durante la etapa inicial de formulación del proyecto (2003-2005), y sobre la base de un proceso participativo, se identificaron los principales desafíos a nivel de cuenca y se delinearon las propuestas preliminares para la gestión, orientadas a resolver o mitigar los problemas identificados.

La Etapa 1 del Programa Marco –ejecutada entre 2010 y 2016– permitió profundizar el diagnóstico realizado, logrando caracterizar de forma más precisa y detallada los problemas de la Cuenca, obteniendo una visión integral del estado de los sistemas hídricos. A partir de este mejor conocimiento, se consolidó el Análisis de Diagnóstico Transfronterizo (ADT) y se formuló el Programa de Acciones Estratégicas (PAE), como documento de políticas y acciones prioritarias consensuadas por los cinco países para resolver los principales problemas identificados, particularmente aquellos de carácter transfronterizo.

Los trabajos fueron desarrollados con la activa participación de instituciones nacionales de cada país, a través de especialistas designados para conformar Grupos Temáticos, que actuaron como instancia de planificación y consenso técnico en la implementación de los distintos subcomponentes en que se estructuró la ejecución

del Programa Marco. Los productos de este esfuerzo se sintetizan en una serie de publicaciones –de la cual el presente documento forma parte– que dan muestra de los resultados obtenidos.

El Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata, agradece el compromiso y esfuerzo de cada una de las personas e instituciones que apoyaron y participaron de la ejecución del Programa Marco. Asimismo, reconoce la valiosa cooperación y aporte de la Organización de los Estados Americanos (OEA), a través de su Departamento de Desarrollo Sostenible, quien colaboró y apoyó al CIC en la ejecución del Programa, y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), quien actuó como agencia de implementación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM).

El trabajo desarrollado durante esta primera etapa del Programa Marco representó una experiencia pionera, donde más de 150 instituciones y 1500 especialistas de la región lograron articular los intereses y voluntades de cada país en la búsqueda de un objetivo común, orientado a la gestión integrada de los recursos hídricos en el marco de la variabilidad y el cambio climático. Se espera que la experiencia de gestión y las herramientas técnicas desarrolladas cimenten y fortalezcan la voluntad de cooperación e integración regional, buscando avanzar hacia el objetivo de lograr el desarrollo sostenible y el bienestar de los habitantes de los países de la Cuenca del Plata.

Presentación

Este documento presenta, en forma sintética, la información hidroclimática disponible en la región, a fin de visualizar lo que operativamente está disponible y que podría ser la base de un sistema de predicción y alerta climática.

Se presentan, además, resultados sobre escenarios hidroclimáticos futuros con una breve discusión sobre la posibilidad de impactos sectoriales.

El presente documento se basa en los informes nacionales que elaboraron los consultores en sus respectivos países, en los

resultados del primer y segundo *Taller de sistemas de alerta*, *Integración de redes de monitoreo y radarización de la Cuenca del Plata*, realizados en Buenos Aires en 2012 y en Asunción en 2014, en el *Informe de avance sobre la caracterización y diagnóstico de la red hidrometeorológica y calidad de agua en la Cuenca del Plata*, en las recomendaciones de la Reunión de Directores de Agua de la Cuenca del Plata realizada en Brasilia en 2014, en los resultados de las diferentes reuniones del Componente III del Programa Marco: *Modelos hidroclimáticos y escenarios para la adaptación*, y en las distintas experiencias recabadas en la región.

Resumen ejecutivo

Desde el punto de vista climático, la Cuenca del Plata (CdP) cuenta con una diversidad importante de climas, que van desde los secos y muy calurosos del oeste chaqueño hasta las húmedas regiones del extremo noreste de Argentina, partes del sur de Brasil y sudeste de Paraguay. Estos climas presentan una variabilidad interestacional o interanual que, con frecuencia, se traduce en eventos extremos de sequías o inundaciones. En particular, sus precipitaciones están condicionadas, entre otros factores, por los fenómenos La Niña y El Niño, siendo una de las regiones más afectadas en el mundo por estos eventos.

En la CdP también se desarrollan importantes e interesantes sistemas meteorológicos generadores de tiempo severo, siendo una de las regiones del mundo con mayor frecuencia de tormentas eléctricas.

Cada país de la CdP cuenta con un servicio meteorológico nacional, que es el nexo con la Organización Meteorológica Mundial. En algunos países, existen servicios meteorológicos que también son realizados por otros organismos nacionales o regionales, por el sector privado y por las organizaciones no gubernamentales,

como asociaciones de productores agropecuarios.

En los países de la Cuenca, los servicios hidrológicos se realizan por medio de instituciones nacionales diferentes a los servicios meteorológicos (con excepción de Bolivia), aunque existen además entidades regionales o provinciales que también realizan monitoreo hidrológico y entes nacionales con fines específicos, como el sector agrícola o energético, incluidas las entidades que operan usinas hidroeléctricas. Por lo tanto, la información hidrometeorológica es generada por redes operadas por diferentes actores, públicos o privados, estales o regionales, lo que supone un desafío al momento de integrar la información.

Desde hace unos años, Argentina y Brasil, y más recientemente Paraguay, cuentan con sistemas de observación conformado por radares meteorológicos. En Argentina se iniciaron acuerdos para crear un sistema de radares meteorológicos que abarcara todo el territorio nacional. Brasil tiene como objetivo ampliar la red de observación de condiciones de tiempo y clima para lograr el mejor acompañamiento posible de los municipios considerados prioritarios por tener

registros de ocurrencia de desastres naturales, como deslizamiento e inundaciones. En Paraguay, se opera un radar ubicado en Asunción y existen planes de ampliar este sistema de observación con un radar más en la región oriental del país. El proyecto de integración de redes de monitoreo y radarización de la Cuenca del Plata ha realizado dos talleres relacionados con el tema, uno en Buenos Aires, en 2012, y otro en Asunción, en 2014.

Respecto del uso de satélites meteorológicos, son varias las fuentes de información que se utilizan en la Cuenca que actualizan datos e imágenes cada 30 minutos. Los servicios meteorológicos de la región procesan información del satélite GOES-13, disponible en tiempo real. Productos procedentes de otros satélites, en general de órbita polar, están disponibles con el aporte de información complementaria, como el agua precipitable e índices de inestabilidad.

Los organismos meteorológicos e hidrológicos de la Cuenca acordaron llevar adelante el programa WIGOS (El Sistema de Observación Global Integrado de la OMM), una propuesta integrada para mejorar y desarrollar el sistema de observación de la OMM, que fomentará la evolución ordenada de los actuales sistemas de observación, operados por sus países miembros, en un sistema de observación integrado, inteligente y coordinado.

Actualmente, son varias las fuentes de información hidrometeorológica en la Cuenca del Plata. Cada vez con mayor tecnología y velocidad de acceso a los datos y también de procesamiento, son varias las instituciones que realizan el procesamiento de los datos hidrometeorológicos en tiempo real a fin de generar información a partir de los datos básicos, y así obtener secuencias hidroclimáticas, predicciones o alertas.

Los pronósticos climáticos estacionales han sido uno de los productos más buscados por varios usuarios desde que se han implementado en los países de la Cuenca. Estos pronósticos empezaron a ser operativos poco antes de la ocurrencia de El Niño 1997-98. Desde entonces, se han realizado 37 reuniones internacionales y fue común la realización de los *Foros climáticos para el sudeste de Sudamérica*. Estos foros se realizaban, en forma consensuada por los especialistas de las instituciones participantes, normalmente servicios meteorológicos e hidrológicos, universidades y centros de investigación, entre otros. Actualmente, estos foros continúan realizándose con una frecuencia mensual en varios servicios o centros, utilizándose en algunos casos tecnologías modernas para participación de especialistas y expertos a distancia, y los resultados representan unos de los productos climáticos más requeridos.

El *Centro regional del clima para el sur de América del Sur* (CRC-SAS) es una organización virtual, constituida en forma de red, según los principios definidos por la OMM. Se encuentra en su fase inicial de implementación y ofrece servicios climáticos en apoyo a los servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales y a otros usuarios de los países situados en la región sur de América del Sur.

En la Tercera Conferencia Mundial sobre el Clima (2009), se decidió establecer el Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC), una iniciativa de la Naciones Unidas encabezada por la OMM con el fin de orientar la elaboración y aplicación de información y servicios climáticos basados en conocimientos científicos, para apoyar la toma de decisiones en sectores sensibles al clima. Al nivel regional será posible establecer sinergias para el desarrollo y la creación de capacidades que posiblemente no estén al alcance de los recursos individuales

de algunos países. En la Cuenca del Plata, el CRC-SAS podría ayudar al fortalecimiento de capacidades de colaboración regional y subregional, a detectar las necesidades de los usuarios, a identificar unidades de investigación y generación de productos.

También, son varios los organismos de los países de la Cuenca que actualmente realizan corridas de modelos meteorológicos en forma operativa para la predicción numérica del tiempo y el clima, siendo una herramienta muy importante para la predicción hidrometeorológica e hidroclimática. En este sentido, las salidas de los modelos de predicción numérica del tiempo son muy útiles, tanto para situaciones corrientes como para situaciones particulares extremas de eventos extremos de inundaciones o sequías. El Instituto Nacional de Meteorología (INMET) de Brasil corre modelos alta de resolución como el MBAR 10 km, el COSMO 2,8 km y el COSMO 7 km, mientras que el Centro de Previsión de Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC), también de Brasil, corre varios modelos meteorológicos en forma operativa, entre ellos, el BRAMS 5 km, el ETA 15 km y el ETA Ensemble 40 km. Por su parte, el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, corre el modelo ETA 40 km.

Respecto a las características generales de la circulación atmosférica en la región, la parte tropical y subtropical de América del Sur está caracterizada por el monzón sudamericano, sistema de circulación atmosférica estacional en América del Sur y océanos adyacentes, condicionado por la radiación solar estacional, que tiene una marcada influencia en el régimen hidroclimático de la CdP, siendo una de sus características principales el bien definido ciclo anual de la precipitación en la mayor parte de la Cuenca del Plata, con máximos en verano y mínimos en invierno.

Entre el otoño y la primavera, la incursión de ciclones extratropicales es frecuente en la Cuenca. Estos sistemas meteorológicos son responsables de gran parte de las precipitaciones que acontecen en la estación invernal en la parte oriental de la Cuenca.

Estos sistemas meteorológicos de latitudes medias que transportan estas masas de aire con temperaturas bajas y poco contenido de humedad, producen un marcado descenso de la temperatura sobre la Cuenca del Plata, ocasionado heladas en la parte central y sur entre los meses de junio y julio, principalmente.

La precipitación total anual es muy variable en la CdP, aumentando de oeste a este. Durante la primavera y el verano austral, se observan sistemas dominantes que conectan el Amazonas con el sudeste de Sudamérica. En primer lugar, la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS), una banda nubosa convectiva que va desde el sur del Amazonas hasta el sudeste del Brasil, y el Jet de Bajo Nivel de Sudamérica (SALLJ). Estos sistemas actúan produciendo lluvias. El origen de este SALLJ está asociado a los vientos alisios que soplan desde el océano Atlántico tropical, cargados de humedad, que invaden el Amazonas depositando allí la humedad, que es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración, y desde allí, es transportada hacia el sur por el SALLJ. Los aumentos sistemáticos de precipitación y escorrentía desde mediados de los años setenta son consistentes con el aumento de la frecuencia de los eventos SALLJ.

El desarrollo de eventos de El Niño y La Niña, fenómenos relacionados con la temperatura superficial del océano Pacífico tropical, tiene efectos marcados en el clima de gran parte de la CdP, especialmente en el sudeste, y en la escala de tiempo interanual afectando a la variabilidad de la lluvia. En esta región, en

años El Niño se han observado precipitaciones y escorrentías intensas; también se han observado precipitaciones intensas durante años Niños neutros, asociados a otros forzantes como situaciones de bloqueo, intensificación de sistemas sinópticos o sistemas de meso escala. En años Niña se ha observado una tendencia a situaciones de déficit pluviométrico o sequía. La relación de la precipitación con estos eventos, lo transforma en un “pronosticador” del régimen de lluvia para los meses futuros.

Algunos de los estudios han evidenciado cambios y tendencias significativas en los caudales y en la precipitación en la Cuenca del Plata. La deforestación y los cambios del uso del suelo aumentaron rápidamente en los últimos 60 años y hay evidencias de que estas acciones antropogénicas modifican las características termodinámicas de la baja atmósfera. Estos cambios son el resultado de complejas interacciones entre el clima, la hidrología, la vegetación y el manejo de los recursos (agua y suelo). Entre los cambios detectados se encuentran los incrementos en las precipitaciones y en el caudal de los ríos y las modificaciones en la circulación atmosférica de superficie y en las temperaturas extremas que podrían estar vinculadas con el cambio climático.

Si por un lado la CdP ha experimentado eventos extremos de precipitación cada vez con mayor frecuencia e intensidad, por otro lado, se ha observado, en el centro y el norte de la Cuenca una tendencia a un atraso del inicio de la primavera austral o un aumento en la extensión de la estación seca.

El 2014 fue el año más caliente desde que se tienen mediciones de temperaturas. En la CdP se observó una anomalía mayor a la media, de entre 1°C y 2°C, llamando la atención que estas temperaturas elevadas se registraran en ausencia de un evento El

Niño plenamente desarrollado. Esta anomalía no resulta ser un hecho aislado, ya que desde hace décadas las observaciones meteorológicas muestran un aumento constante de la temperatura del aire en muchas localidades.

En el Programa Marco se consideró la relación de las problemáticas identificadas en el ADT con los efectos de la variabilidad y del cambio climático. Para ello, se establecen escenarios de variabilidad climática (situación actual y tendencia inmediata) y se consideran los escenarios de cambio climático asociados al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).

Una de las herramientas comúnmente utilizadas para evaluar el estado actual y las proyecciones climáticas son los modelos del clima, que muchas veces son insuficiente para describir el clima regional, que puede estar afectado por fenómenos que ocurren en una escala menor. La “reducción de escala” utilizando modelos climáticos regionales es una forma de generar escenarios de cambio climático en alta resolución. La respuesta de un modelo raramente captura una amplia gama de incertezas en las proyecciones del clima. Una inadecuada elección de los escenarios puede comprometer la interpretación de los resultados de estudios de impacto.

Con estas consideraciones, los modelos de clima proyectan para el futuro, todavía con grados de incerteza, posibles cambios en extremos climáticos. El conocimiento de la variabilidad observada en el clima, en las escalas de tiempo más extensas posibles, sirve de base para analizar el clima futuro, intentando así separar la variabilidad natural observada de aquella que es derivada de la acción antropogénica.

Para la región, el CPTEC ha realizado simulaciones con el modelo climático regio-

nal ETA, con resoluciones de 10 km y 20 km, forzado con el modelo HadGEM2-ES del IPCC AR5, para el escenario RCP 4.5 (moderado), para el período 1960-2100, con el objetivo de evaluar situaciones de posibles cambios climáticos.

Debe remarcarse que los estudios realizados han tomado en cuenta los resultados de un solo modelo; ello ha permitido contar con un resultado regional a partir de los escenarios establecidos por el IPCC y trasladarlos a otros indicadores tales como riesgo, caudales, humedad de suelo y erosibilidad. No obstante, este enfoque posee limitaciones, ya que a la luz de las incertidumbres actuales de los modelos climáticos globales, lo más aconsejable para el manejo de escenarios futuros es emplear un conjunto de modelos, para así considerar luego el “ensamble” de resultados.

Los resultados del ETA en la Cuenca del Plata indican que el mismo permite reproducir la distribución espacial y temporal de las variables climatológicas del clima presente (1961-1990) de acuerdo con los resultados de las observaciones utilizadas.

En las precipitaciones mensuales del período se nota un acompañamiento aceptable del modelo a los datos, aunque con subestimaciones en los meses del verano y sobreestimaciones en los meses del invierno. Las precipitaciones estacionales en general también fueron reproducidas aceptablemente. Con respecto a la temperatura del clima presente, se puede observar una buena reproducción, si bien subestima la temperatura en el verano y en el otoño en el sureste (alto Uruguay) y en el invierno en el centro oeste de la Cuenca (Bajo Paraguay y Bajo Paraná), mientras que sobreestima un tanto la temperatura en la zona ZCAS (Alto Paraguay y Alto Paraná). En consecuencia, el modelo ETA ofrece un clima presente que reproduce campos estacionales

de la precipitación y la temperatura del aire que podrían ser considerados como aceptables en comparación con los datos observados para el mismo período.

Para la precipitación estacional presenta diferencias o anomalías futuras. Para el período 2011-2040, es posible observar una tendencia de anomalía negativa de la precipitación en buena parte de la Cuenca, principalmente durante el verano y en menor medida en otoño y en primavera. La disminución de la precipitación es también observada para la estación invernal sobre la parte sudeste de Brasil, aunque en menor magnitud. Mientras tanto, se observa una tendencia de aumento de la precipitación en la cuenca alta del río Uruguay durante la primavera y el otoño con extensiones hacia el Río de la Plata.

En el período 2041-2070, se debilita la tendencia de la anomalía negativa de la precipitación en la región ZCAS persistiendo ligeramente durante la primavera y el verano. Se observan anomalías positivas en gran parte de la cuenca alta del Paraná y el Uruguay de otoño a primavera y en el Bajo Paraná en el verano. En el período 2071-2100, resaltan las anomalías negativas del verano en la región ZCAS, Alto Paraguay y Alto Paraná, mientras se observa una tendencia positiva marcada sobre el Alto Paraná y el río Uruguay en todo el año, y en el Bajo Paraná y Río de la Plata en verano y otoño.

La temperatura del clima futuro para los períodos analizados 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, el modelo ETA/CPTEC/INPE muestra una tendencia persistente de un calentamiento climático para todos los períodos analizados respecto del período de referencia (1961-1990) en toda la CdP. Esta tendencia también es observada por otros modelos climáticos disponibles para la región.

Dadas estas observaciones, y considerando las limitaciones que aún presentan los modelos climáticos y teniendo en cuenta la dispersión de los resultados, podríamos pensar que el modelo ETA/CPTEC/INPE puede ser considerado como una guía a considerar para los análisis de los escenarios climáticos del futuro.

Considerando escenarios inmediatos en términos climáticos, el período 2011-2041 presenta situaciones tales como una disminución de la precipitación en gran parte de la Cuenca y un aumento considerable de la temperatura. Este escenario climático podría afectar los recursos hídricos en la Cuenca del Plata. En un escenario con menor precipitación y mayor temperatura, el balance hidrológico regional podría conducir a caudales medios en descenso, facilitando la ocurrencia de eventos extremos. Este tipo de escenario podría afectar sensiblemente la navegación de los ríos y traería, a su vez, consecuencias económicas importantes. Con un escenario de la humedad del suelo en disminución o en permanente déficit, podría haber un fuerte impacto en la producción agrícola y ganadera. La reducción de los recursos de aguas superficiales y subterráneas pondría en compromiso el abastecimiento de agua potable para consumo humano. También, la disminución de los caudales medios podría afectar la calidad de las aguas de los ríos transfronterizos, dado que aumentaría la concentración

de contaminantes en los cursos hídricos como también el depósito de sedimentos.

Algunos resultados de extremos climáticos del modelo regional ETA-CPTEC son los siguientes. Respecto de la precipitación total anual se observa un aumento a lo largo del siglo; si bien en el período 2011-2040 la precipitación total anual es inferior al clima actual en el norte de la Cuenca, posteriormente tiende a aumentar. En el centro y sur tiende a aumentar respecto del presente. El número de días con lluvia tiende a aumentar a lo largo del siglo, dejando entrever una mayor actividad de los sistemas precipitantes durante este período. Los días secos consecutivos irían disminuyendo durante el siglo XXI, mientras que los días húmedos consecutivos irían aumentando durante este lapso.

La ocurrencia de eventos extremos también tiende a manifestarse en la intensidad de las lluvias. Los días con lluvia fuerte y muy fuerte estarían aumentando en el presente siglo, especialmente en el sureste. Con respecto a la temperatura, se observa que los días calientes presentan una tendencia de aumento, especialmente en el centro y en el norte, y que los días fríos estarían disminuyendo.

Los impactos incrementales relacionados con el clima, más que los eventos extremos en sí, pueden tener consecuencias extremas donde exista una alta vulnerabilidad.

Resumo executivo

Do ponto de vista climático, a Bacia do Prata conta com uma grande diversidade de climas, desde os secos e muito quentes do oeste do Chaco, até as regiões úmidas do extremo nordeste da Argentina, partes do sul do Brasil e sudeste do Paraguai. Estes climas apresentam uma variabilidade intrasazonal ou interanual que, com frequência, se traduz em eventos extremos de secas ou inundações. Em particular, suas precipitações estão condicionadas, entre outros fatores, pelos fenômenos La Niña e El Niño, sendo uma das regiões mais afetadas do mundo por esses eventos.

Na Bacia do Prata também foram desenvolvidos importantes e interessantes sistemas meteorológicos geradores de tempo severo, sendo uma das regiões do mundo com maior frequência de tormentas elétricas.

Cada país conta um serviço meteorológico nacional, que os conecta com a Organização Meteorológica Mundial. Em alguns países, existem serviços meteorológicos que também são realizados por outros organismos nacionais ou regionais, pelo setor privado e organizações não-governamentais, tais como associações de produtores agropecuários.

Nos países da Bacia, os serviços hidrológicos são realizados por instituições nacionais diferentes das utilizadas para os serviços meteorológicos (exceto para a Bolívia), embora existam, ainda, as entidades regionais ou provinciais que também realizam o monitoramento hidrológico e órgãos nacionais com fins específicos, como o setor agrícola e energético, incluindo entidades que operam usinas hidrelétricas. Portanto, a informação hidrometeorológica é gerada por redes operadas por diferentes atores, públicos ou privados, estatais ou regionais, o que se traduz num desafio no momento de integrar a informação.

Há alguns anos, a Argentina e o Brasil, e mais recentemente o Paraguai, contam com sistemas de observação formados por radares meteorológicos. Na Argentina, foram iniciados acordos para criar um sistema de radares meteorológicos que cubra todo o país. O Brasil pretende ampliar a rede de observação de condições do tempo e clima para atingir o melhor monitoramento possível dos municípios considerados prioritários, por terem registros de ocorrência de desastres naturais, como deslizamentos de terra e inundações. No Paraguai, está sendo operado um radar situado em Assunção e

existem planos para expandir este sistema de observação com mais um radar na região oriental do país. O projeto de integração de redes de monitoramento e radarização da Bacia do Prata realizou dois *workshops* sobre o tema, um em Buenos Aires, em 2012, e outro em Assunção, em 2014.

Quanto ao uso de satélites meteorológicos, são várias as fontes de informação utilizadas na Bacia que atualizam dados e imagens a cada 30 minutos. Os serviços meteorológicos da região processam as informações do satélite GOES-13, disponíveis em tempo real. Dados provenientes de outros satélites, geralmente de órbita polar, estão disponíveis com a entrada de informação complementar, tais como índices de água precipitável e de instabilidade.

Os órgãos meteorológicos e hidrológicos da Bacia concordaram em levar a diante o programa WIGOS (O Sistema de Observação Global Integrado da OMM), uma proposta integrada para melhorar e desenvolver o sistema de observação da OMM, que fomentará a evolução ordenada dos sistemas de observação atuais operados pelos seus países membros em um sistema de observação integrado, inteligente e coordenado.

Atualmente, existem várias fontes de informação hidrometeorológica na Bacia do Prata. Cada vez com mais tecnologia e velocidade de acesso aos dados e também de processamento, são várias as instituições que realizam o processamento de dados hidrometeorológicos em tempo real, a fim de gerar informação a partir dos dados básicos, e, assim, obter sequências hidroclimáticas, previsões ou alertas.

As previsões climáticas sazonais têm sido um dos produtos mais procurados pelos vários usuários desde que foram implementadas nos países da Bacia. Estas previsões

começaram a operar pouco antes da ocorrência do El Niño 1997-1998. Desde então, foram realizadas 37 reuniões internacionais e tornou-se comum a realização dos *Fóruns climáticos para o sudeste da América do Sul*. Estes fóruns foram realizados em consenso pelos especialistas das instituições participantes, geralmente serviços meteorológicos e hidrológicos, universidades e centros de pesquisa, entre outros. Atualmente, estes fóruns continuam sendo realizados mensalmente em vários serviços ou centros, utilizando tecnologias modernas, em alguns casos, para a participação de especialistas e peritos remotos, e os resultados representam um dos produtos climáticos mais procurados.

O *Centro regional do clima para o sul da América do Sul* (CRC-SAS) é uma organização virtual, estabelecida como uma rede, de acordo com os princípios definidos pela OMM. Encontra-se em etapa inicial de implementação e fornece serviços climáticos como apoio aos serviços meteorológicos e hidrológicos nacionais e a outros usuários dos países situados na região sul da América do Sul.

Na Terceira Conferência Mundial do Clima (2009), foi estabelecido um Marco Mundial para Serviços Climáticos (MMSC), uma iniciativa da Organização das Nações Unidas liderada pela OMM, a fim de orientar na elaboração e aplicação de informações e serviços climáticos com base em conhecimentos científicos, apoiando à tomada de decisões em setores sensíveis ao clima. No âmbito regional, será possível estabelecer sinergias para o desenvolvimento e a criação de capacidades que podem não estar ao alcance dos recursos individuais de alguns países. Na Bacia do Prata, o CRC-SAS poderia ajudar a fortalecer as capacidades de cooperação regional e sub-regional, a identificar as necessidades dos usuários e a

identificar unidades de pesquisa e geração de produtos.

Além disso, são vários os órgãos dos países da Bacia que atualmente realizam corridas de modelos meteorológicos de maneira operativa para a previsão numérica de tempo e clima, sendo uma ferramenta muito importante para a previsão hidrometeorológica e hidroclimática. Sendo assim, as saídas dos modelos de previsão numérica do tempo são muito úteis, tanto para as situações comuns como também para determinadas situações extremas de eventos extremos de enchentes ou secas. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do Brasil corre modelos de alta resolução como o MBAR 10 km, o COSMO 2,8 km e o COSMO 7 km, enquanto que o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), também no Brasil, executa vários modelos meteorológicos de forma operativa, entre eles, o BRAMS 5 km, o ETA 15 km e o ETA Ensemble 40 km. Por outro lado, o Serviço Meteorológico Nacional da Argentina, corre o modelo ETA 40 km.

Em relação às características gerais da circulação atmosférica na região, a parcela tropical e subtropical da América do Sul está caracterizada pela Monção Sul-Americana, sistema de circulação atmosférica sazonal na América do Sul e oceanos adjacentes, condicionado pela radiação solar sazonal, que tem uma influência marcante sobre o regime hidroclimático da Bacia do Prata, sendo uma de suas principais características o ciclo anual bem definido de precipitação na maior parte da Bacia do Prata, com máximas no verão e mínimas no inverno.

Entre o outono e a primavera, é comum a incursão de ciclones extratropicais na Bacia. Estes sistemas meteorológicos são responsáveis por grande parte das precipi-

tações que ocorrem no inverno na parte oriental da Bacia.

Estes sistemas meteorológicos de latitudes médias que transportam essas massas de ar com baixas temperaturas e baixa umidade, produzem uma queda acentuada da temperatura na Bacia do Prata, causando geadas na região central e sul entre os meses de junho e julho, principalmente.

A precipitação total anual é muito variável na Bacia do Prata, aumentando de oeste para leste. Durante a primavera e o verão austral, são observados sistemas dominantes que ligam o Amazonas com o sudeste da América do Sul. Em primeiro lugar, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), uma banda de nuvens convectivas que se estende do sul da Amazônia até o sudeste do Brasil, e o Jato de Baixo Nível da América do Sul (SALLJ). Estes sistemas atuam produzindo chuvas. A origem deste SALLJ está associada com os ventos alísios que sopram desde o Oceano Atlântico tropical, carregados de umidade, que invadem a Amazônia depositando ali a umidade, que é devolvida à atmosfera por evapotranspiração e, de lá, é transportada para o sul pelo SALLJ. Os aumentos sistemáticos de precipitação e escoamento desde meados dos anos setenta são consistentes com o aumento da frequência de eventos SALLJ.

O desenvolvimento dos eventos El Niño e La Niña, fenômenos relacionados com a temperatura da superfície do Oceano Pacífico tropical, possui efeitos sobre o clima de grande parte da Bacia do Prata, especialmente no sudeste, e na escala de tempo interanual afetando a variabilidade das chuvas. Nesta região, em anos El Niño foram observadas chuvas e escoamentos intensos; também foram observadas precipitações intensas durante anos Niño neutros, associados a outras forçantes climáticas como

situações de bloqueio, intensificação dos sistemas sinóticos ou sistemas de mesoescala. Em anos Niña observou-se uma tendência a situações de déficit pluviométrico ou seca. A relação da precipitação com estes eventos, o transforma em um “previsor” do regime de chuva para os próximos meses.

Alguns estudos evidenciaram mudanças e tendências significativas nas vazões e na precipitação na Bacia do Prata. O desmatamento e as mudanças no uso do solo aumentaram rapidamente nos últimos 60 anos e há evidências de que essas ações antropogênicas modificam as características termodinâmicas da baixa atmosfera. Essas mudanças são o resultado de interações complexas entre o clima, a hidrologia, a vegetação e a gestão dos recursos (água e solo). Entre as mudanças detectadas, encontram-se os aumentos nas precipitações e na vazão dos rios e as mudanças na circulação atmosférica da superfície e nas temperaturas extremas que podem estar ligadas às mudanças climáticas.

Se por um lado a Bacia do Prata sofreu eventos extremos de precipitação com o aumento da frequência e da intensidade, por outro lado, tem-se observado, no centro e ao norte da Bacia, uma tendência para retardar o início da primavera austral ou um aumento na extensão da estação seca.

O ano de 2014 foi o mais quente desde que as medições de temperatura são realizadas. Na Bacia do Prata, observou-se uma anomalia maior do que a média, entre 1 °C e 2 °C, chamando a atenção para essas altas temperaturas que foram registradas na ausência de um evento El Niño totalmente desenvolvido. Esta anomalia não é um fato isolado, uma vez que há décadas as observações meteorológicas mostram um aumento constante da temperatura do ar em muitas regiões.

No Programa Marco foi considerada a relação das problemáticas identificadas no ADT com os efeitos da variabilidade e mudanças do clima. Para isso, são estabelecidos cenários de variabilidade climática (situação atual e tendência imediata) e considerados cenários de mudanças climáticas associados com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

Uma das ferramentas comumente utilizadas para avaliar o estado atual e as projeções climáticas é o modelo de clima, que muitas vezes é insuficiente para descrever o clima regional, que pode ser afetado por fenômenos que ocorrem em uma escala menor. A “redução de escala” usando modelos climáticos regionais é uma maneira de gerar cenários de mudanças climáticas em alta resolução. A resposta de um modelo raramente capta uma ampla gama de incertezas nas projeções climáticas. Uma escolha inadequada dos cenários pode comprometer a interpretação dos resultados dos estudos de impacto.

Com essas considerações os modelos climáticos projetam para o futuro, mesmo que com graus de incerteza, possíveis mudanças nos extremos climáticos. O conhecimento da variabilidade observada no clima, em escalas de tempo mais extensas possíveis, serve como base para a análise do clima futuro, na tentativa de separar a variabilidade natural observada daquela derivada da ação antrópica.

Para a região, o CPTEC tem realizado simulações com o modelo climático regional ETA, com resoluções de 10 km e 20 km, forçado com o modelo HadGEM2-ES do IPCC AR5, para o cenário RCP 4,5 (moderado), no período 1960–2100, com o objetivo de avaliar as situações de possíveis mudanças climáticas.

Deve-se notar que os estudos levaram em consideração os resultados de um único

modelo; isto permitiu contar com um resultado regional a partir dos cenários previstos pelo IPCC e movê-los para outros indicadores, como risco, fluxo, umidade do solo e erodibilidade. No entanto, esta abordagem possui limitações, uma vez que, à luz das incertezas atuais dos modelos climáticos globais, o mais aconselhável para lidar com cenários futuros é a utilização de um conjunto de modelos para, assim, considerar a “montagem” dos resultados.

Os resultados do ETA na Bacia do Prata indicam que o mesmo permite reproduzir a distribuição espacial e temporal das variáveis climatológicas do clima presente (1961-1990) de acordo com os resultados das observações utilizadas.

Nas precipitações mensais do período, nota-se um acompanhamento de um modelo aceitável para os dados, embora com subestimações nos meses de verão e superestimações nos meses de inverno. As precipitações sazonais em geral também foram reproduzidas de forma aceitável. Com relação à temperatura do clima atual, pode ser observado uma boa reprodução, ainda que subestime a temperatura no verão e no outono no sudeste (alto Uruguai) e no inverno no centro-oeste da Bacia (Baixo Paraguai e Baixo Paraná), enquanto que superestima um tanto a temperatura na região ZCAS (Alto Paraguai e Alto Paraná). Consequentemente, o modelo ETA oferece um clima atual que reproduz esse campos sazonais de precipitação e temperatura do ar que poderiam ser considerados como aceitáveis em comparação com os dados observados para o mesmo período.

Para a precipitação sazonal apresenta diferenças ou anomalias futuras. Para o período 2011-2040, é possível observar uma tendência de anomalia negativa de precipitação em grande parte da Bacia, principalmente

durante o verão e em menor escala no outono e na primavera. A diminuição da precipitação também é observada para a temporada de inverno no sudeste do Brasil, embora em menor grau. Enquanto isso, observa-se uma tendência de aumento da precipitação na bacia alta do rio Uruguai durante a primavera e o outono, com extensões para o Rio da Prata.

No período 2041-2070, enfraquece a tendência de anomalia negativa de precipitação na região ZCAS persistindo ligeiramente durante a primavera e o verão. São observadas anomalias positivas em grande parte da bacia alta do Paraná e o Uruguai do outono à primavera e no Baixo Paraná no verão. No período de 2071-2100, destacam-se anomalias negativas do verão na região ZCAS, Alto Paraguai e Alto Paraná, enquanto se observa uma tendência positiva no Alto Paraná e no rio Uruguai durante todo o ano, e no Baixo Paraná e Rio da Prata no de verão e outono.

A temperatura do clima futuro para os períodos analisados 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, o modelo ETA/CPTEC/INPE mostra uma tendência persistente de um aquecimento climático para todos os períodos analisados em relação ao período de referência (1961-1990) em toda a Bacia do Prata. Esta tendência também é observada por outros modelos climáticos disponíveis para a região.

Dadas estas observações, e considerando as limitações ainda presentes nos modelos climáticos atuais e levando em conta a dispersão dos resultados, podemos pensar que o modelo ETA/CPTEC/INPE pode ser considerado como um guia para a análise de cenários climáticos futuros.

Considerando cenários imediatos em termos climáticos, o período 2011-2041 apre-

senta situações tais como a diminuição da precipitação em grande parte da Bacia e um aumento considerável da temperatura. Este cenário climático poderia afetar os recursos hídricos na Bacia do Prata. Num cenário com menor incidência de chuvas e temperaturas mais elevadas, o balanço hidrológico regional poderia levar à queda das vazões médias, facilitando a ocorrência de eventos extremos. Este tipo de cenário poderia afetar significativamente a navegação dos rios e trazer, por sua vez, consequências econômicas importantes. Com um cenário de declínio da umidade do solo ou de déficit permanente, poderia haver um forte impacto na produção agrícola e pecuária. A redução dos recursos de águas superficiais e subterrâneas comprometeria o abastecimento de água potável para consumo humano. Além disso, a diminuição das vazões médias poderia afetar a qualidade das águas dos rios transfronteiriços, uma vez que aumentaria a concentração de poluentes nos cursos hídricos como também a deposição de sedimentos.

Alguns resultados de extremos climáticos do modelo regional ETA-CPTEC são os seguintes. Em relação à precipitação anu-

al total, observa-se um aumento ao longo do século; embora no período 2011-2040 a precipitação total anual seja inferior ao clima atual no norte da Bacia, posteriormente tende a aumentar. No centro e sul tende a aumentar em relação ao atual. O número de dias com chuva tende a aumentar ao longo do século, sugerindo um aumento da atividade dos sistemas de precipitação durante este período. Os dias secos consecutivos diminuiriam durante o século XXI, enquanto que aumentariam os dias úmidos consecutivos durante este período.

A ocorrência de eventos extremos também tende a manifestar-se na intensidade das precipitações. Os dias com chuva forte e muito forte aumentariam neste século, especialmente no sudeste. Com relação à temperatura, observa-se que os dias quentes apresentam uma tendência de aumento, especialmente no centro e ao norte, e que os dias frios estariam diminuindo.

Os impactos incrementais relacionados com o clima, mais que os eventos extremos em si, podem trazer consequências extremas onde existe alta vulnerabilidade.

Executive Summary

From the climate viewpoint, the La Plata Basin (LPB) has an important climate-diversity, ranging from the dry and very hot climate of western Chaco to the humid-regions of the northeastern end of Argentina, parts of southern Brazil and southeastern Paraguay. These climates present an interseasonal or interannual diversity which often translates into extreme drought or flood events. Particularly, its rainfall is conditioned, among other factors, by El Niño and La Niña phenomena; in fact, it is one of the most affected regions in the world by these events.

Important and interesting meteorological systems also take place within the LPB which generate severe weather and make it one of the regions in the world with the highest frequency of electrical storms.

Each LPB country has a national meteorological service, which is the nexus with the World Meteorological Organization. In some countries, meteorological services are also provided by other national or regional agencies, the private sector and non-governmental organisations, such as agricultural and livestock producer associations.

In the Basin countries, hydrological services are provided by national institutions, separately from meteorological services (with the exception of Bolivia), although hydrological monitoring is also performed by regional or provincial entities and national entities with specific purposes, such as the agricultural or energy sector, including entities operating hydroelectric power plants. Therefore, hydrometeorological information generated by networks that are operated by different – public or private, state or regional – stakeholders poses a challenge at the time of integrating the information.

Argentina and Brazil, and more recently Paraguay, have been using observing systems composed of meteorological radars for a few years. In Argentina, agreements have been initiated to create a meteorological radar system encompassing the entire national territory. Brazil's objective is to enlarge the weather and climate observation network in order to better assist priority municipalities that are most vulnerable to natural disasters, such as floods and landslides. In Paraguay, a radar is operated in Asunción and there are plans to enlarge this observing system with an additional radar in the eastern region of the coun-

try. The LPB monitoring and radar network integration project held two workshops related to the subject, one in Buenos Aires in 2012, and another in Asunción in 2014.

As regards the use of meteorological satellites, there are several information sources used in the Basin that update data and images every 30 minutes. The meteorological services of the region process data from the GOES-13 satellite, available in real time. Products from other satellites, generally polar orbiting ones, are available with the contribution of supplementary information, such as precipitable water and instability indices.

The meteorological and hydrological agencies of the Basin agreed to implement the WIGOS programme (WMO Integrated Global Observing System), an integrated approach to improving and evolving WMO observing system, which will foster the orderly evolution of the present observing systems, operated by its member countries into an integrated, intelligent and coordinated observing system.

At present, there are several hydrometeorological information sources in the La Plata Basin. With increasingly better technology and faster speed for data access as well as processing, several institutions are able to process hydrometeorological data in real time in order to generate information based on the basic data and thus obtain hydroclimate sequences, predictions or alerts.

Seasonal climate forecasts have been one of the most popular products among several users since they were implemented in the Basin. These forecasts became operational shortly before the occurrence of the 1997-98 El Niño. Since then, 37 international meetings have been held and the Southeastern South America Climate Forums have been

commonly used. These forums were convened to formulate consensus guidance and were comprised of specialists from the participating institutions, normally meteorological and hydrological services, universities and research centres, among others. At present, these forums continue to be convened on a monthly basis at different services or centres; in some cases modern technologies are used to allow the remote participation of specialists and experts, and the results obtained are one of the most required climate products.

The *Regional Climate Centre for southern South America* (RCC-SSA) is a virtual organisation, established as a network according to the WMO principles. It is in its initial implementation phase and offers climate services in support of national meteorological and hydrological services and other users of the countries located in the southern region of South America.

The Third World Climate Conference (2009) decided to establish a Global Framework for Climate Services (GFCS), a UN-led initiative spearheaded by WMO to guide the development and application of science-based climate information and services in support of decision-making in climate-sensitive sectors. At the regional level, it will be possible to establish synergies for the development and creation of capacities that might be out of reach to the individual resources of certain countries. In the La Plata Basin, the RCC-SSA could help to strengthen the regional and sub-regional cooperation capacities, detect users' needs, identify research units and generate products.

In addition, at present, meteorological models are run operationally by several agencies of the Basin countries for numerical weather and climate prediction, which is a very important tool for hydrometeorological and

hydroclimate prediction. In this sense, numerical weather prediction model runs are very useful, both for ordinary situations as well as particular situations of extreme flood or drought events. Brazil's National Institute of Meteorology (INMET) runs high-resolution models such as MBAR 10 km, COSMO 2.8 km and COSMO 7 km, whereas the Centre for Weather Forecasts and Climate Studies (CPTEC), also of Brazil, runs several meteorological models operationally, such as BRAMS 5 km, ETA 15 km and ETA Ensemble 40 km, among others. On the other hand, the National Meteorological Service of Argentina runs the ETA-40 km model.

As regards the general characteristics of the atmospheric circulation in the region, tropical and sub-tropical South America is characterised by the South American monsoon, a seasonal atmospheric circulation system in South America and adjacent oceans conditioned by seasonal solar radiation, which has a marked influence on the hydroclimate regime of the LPB, where the well-defined annual rainfall cycle in most parts of the La Plata Basin -with maximum amounts in the summer and minimum amounts in the winter- is one of its main features.

Between autumn and spring, extra-tropical cyclones are frequent in the Basin. These meteorological systems account for most of the rainfall during the winter in the eastern part of the Basin.

These mid-latitude meteorological systems, which transport these air masses with cold temperatures and little moisture, bring about a marked temperature decrease over the La Plata Basin, producing frosts in the central and southern region between June and July, mostly.

Total annual rainfall is quite variable in the LPB, with an upward trend from west

to east. During austral spring and summer, dominant systems are observed which connect the Amazon with southeastern South America. Firstly, the South Atlantic Convergence Zone (SACZ), a band of convective clouds which extends from southern Amazon to southeastern Brazil, and the South American Low-Level Jet (SALLJ). These systems act producing rain. The origin of this SALLJ is associated with the trade winds that blow out of the tropical Atlantic ocean carrying a lot of moisture, and invade the Amazon depositing the moisture there, which returns to the atmosphere through evapotranspiration, and is transported from there towards the south by the SALLJ. The systematic rainfall and runoff increases observed since the mid-70s are consistent with the increase in the frequency of the SALLJ events.

The development of El Niño and La Niña events, phenomena related to the surface temperature of the tropical Pacific ocean, has a marked impact on the climate in most parts of the LPB, especially in the southeast, and on the interannual time scale affecting rainfall variability. In this region, in El Niño years, intense rainfall and runoff have been observed; intense rainfall has also been observed during neutral El Niño years associated with other forcings, such as blocking situations, intensification of synoptic systems or mesoscale systems. In La Niña years, a trend towards pluviometric deficit or drought situations has been observed. The connection of rainfall with these events turns it into a "forecaster" of the rainfall regime for future months.

Some studies have shown significant changes and trends in the river flows and rainfall within the La Plata Basin. Deforestation and land-use changes have intensified quickly over the last 60 years and there is evidence that these anthropogen-

ic actions alter the thermodynamic characteristics of the lower atmosphere. These changes are the result of complex interactions among climate, hydrology, vegetation and resource (water and land) management. Among changes detected are increase in rainfall and river flow and changes in surface atmospheric circulation and extreme temperatures that might be related to climate change.

If, on the one hand, the LPB has experienced extreme rainfall events with greater frequency and intensity, on the other, a trend towards a late arrival of austral spring or an extended dry season has been observed in the centre and north of the Basin.

2014 was the hottest year on record since temperature measurements began. An anomaly higher than the mean – between 1°C and 2°C – was observed in the LPB, an unexpected record in the absence of a fully-developed El Niño event. This anomaly is not an isolated fact since for decades meteorological observations have shown a constant increase in the air temperature in several areas.

The Framework Programme has considered the relationship between the issues identified in the TDA and the effects of variability and climate change. To do this, climate variability scenarios (present situations and immediate trend) are established and the climate change scenarios associated with the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) are considered.

One of the commonly used tools for assessing the current climate status and projections are the climate models which are often not enough to describe the regional climate which might be affected by phenomena taking place at a smaller scale. The “scale reduction” used by regional climate

models is one way to generate high-resolution climate change scenarios. A model’s answer rarely captures the wide range of uncertainties climate projections have. An inadequate choice of scenarios can jeopardise the interpretation of the impact study results.

With these considerations, climate models predict, with degrees of uncertainty, possible future changes in climate extremes. The knowledge about the observed climate variability, on the longest time scales, serves as the basis for analysing the future climate, trying to separate the observed natural variability from the anthropogenic-derived one.

For the region, the CPTEC has performed simulations with the ETA regional climate model produced at the 10 km and 20 km resolutions, forced with the IPCC AR5 Had-GEM2-ES model for the RCP 4.5 (moderate) scenario, for the 1960–2100 period, with the aim of assessing possible climate change situations.

It must be pointed out that the studies carried out have taken into account the results of only one model; this has made it possible to obtain a regional result from the IPCC scenarios and transfer it to other indicators such as risks, flows, soil moisture and erodibility. However, this approach has limitations since in the light of the present uncertainties of global climate scenarios, the most recommended thing to manage future scenarios is to use a set of models so as to be able to “assemble” the results.

The ETA results in the La Plata Basin reveal that it allows spatial and temporal distribution of the present (1961–1990) climate variables to be reproduced according to the results of the observations used.

As regards the monthly rainfall of the period, the accuracy of the model was quite acceptable, although with underestimations in the summer months and overestimations in the winter months. Seasonal rainfall was, in general, reproduced with acceptable accuracy. As regards the present climate temperature, a good reproduction can be observed, although the model underestimates the temperature in the summer and autumn in the southeast (Upper Uruguay river) and in the winter in the mid-western region of the Basin (Lower Paraguay and Paraná rivers), whereas it overestimates a little the temperature in the SACZ (Upper Paraguay and Upper Paraná rivers). As a result, the ETA model offers a present climate that reproduces seasonal rainfall and air temperature fields that could be considered to be acceptable in comparison with the data observed for the same period.

For the seasonal rainfall, it presents differences or future anomalies. For the 2011-2040 period, a negative rainfall anomaly trend can be observed over a large part of the Basin, mainly during the summer and, to a lesser extent, in the autumn and spring. A rainfall decrease is also observed for the winter in the southeast region of Brazil, but to a lesser degree. On the other hand, a trend of increasing rainfall is observed in the upper basin of the Uruguay river during the spring and autumn with extensions towards the La Plata River.

In the 2041-2070 period, the negative rainfall anomaly in the SACZ weakens, slightly persisting during the spring and summer. Positive anomalies are observed in a large part of the upper basin of the Paraná and Uruguay rivers from autumn to spring and in the Lower Paraná river in the summer. In the 2071-2100 period, negative summer anomalies can be observed in the SACZ, Upper Paraguay and Upper Paraná whereas

there is a marked positive trend in the Upper Paraná and the Uruguay river all year round and in the Lower Paraná and the La Plata River in the summer and autumn.

As regards the future climate temperature for the analysed 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100 periods, the ETA/CPTEC/INPE model shows a persistent climate warming trend for all the analysed periods with respect to the reference period (1961-1990) throughout the LPB. This trend is also observed by other climate models available for the region.

Given these observations, and taking into account the limitations of climate models and the dispersion of the results, the ETA/CPTEC/INPE model can be considered as a guide to analyse the future climate scenarios.

Taking into account immediate scenarios in climate terms, the 2011-2041 period presents situations such as a rainfall decrease in a large part of the Basin and a considerable temperature increase. This climate scenario could affect the water resources in the La Plata Basin. In a scenario with decreased rainfall and increased temperature, the regional hydrological balance might lead to declining mean flows, thus enabling the occurrence of extreme events. This type of scenarios might affect river navigation considerably which, in turn, would bring about significant economic consequences. With a scenario in which soil moisture is declining or in a permanent deficit, there might be a strong impact on the agricultural and livestock production. The reduction in surface and groundwater resources might jeopardise the supply of drinking water for human consumption. Also, the reduction in mean flows might affect the water quality of transboundary rivers since it would increase the concentration of contaminants in watercourses as well as the deposit of sediments.

Some results from the regional ETA/CPTEC model concerning climate extremes are the following. As regards the total annual rainfall, an increase is observed throughout the century; although in the 2011-2040 period, the total annual rainfall is lower than the present climate in the north of the Basin, it later tends to increase. In the centre and south, it tends to increase with respect to the present. The number of rainy days tends to increase throughout the century, which suggests a greater activity of the precipitation systems over this period. Consecutive dry days may start declining during the 21st century, whereas consecutive humid days may start increasing during this period.

The occurrence of extreme events also tends to manifest itself in the intensity of rainfall. The number of days with heavy and very heavy rain may increase during the present century, especially in the southeast. As regards the temperature, hot days are observed to present an increasing trend, especially in the centre and in the north, whereas cold days may start declining.

The increasing impacts related to climate change, more than extreme events themselves, might bring about extreme consequences where there is high vulnerability.

Capítulo 1:

Introducción

La Cuenca del Plata, geográficamente ubicada entre los 14 y los 37 grados de latitud sur y entre los 43 y los 67 grados de longitud oeste, es una vasta cuenca de captación que se extiende por 3,1 millones de km² y comprende parte del territorio de cinco países sudamericanos: el sur de Brasil, el sudeste de Bolivia, gran parte de Uruguay, una amplia zona del centro y del norte de Argentina y la totalidad del territorio de Paraguay.

Esta Cuenca está formada por tres sistemas hídricos principales: el río Paraguay, el río Paraná y el río Uruguay, drenando sus aguas al río de la Plata, que los conecta con el océano Atlántico Sur. Desde el punto de vista hidroclimático, la Cuenca del Plata cuenta con una diversidad importante

de climas, que van desde los climas secos y muy calurosos del oeste chaqueño, con menos de 600 mm/año de precipitación, hasta las húmedas regiones del sur de Brasil y del sudeste de Paraguay, con más de 2000 mm/año de precipitación. Estos climas presentan una variabilidad interestacional y/o interanual y con frecuencia desarrollan eventos extremos de sequías o inundaciones de gran magnitud.

En la Cuenca del Plata también se desarrollan importantes e interesantes sistemas meteorológicos generadores de tiempo severo, siendo una de las regiones del mundo con mayor frecuencia de tormentas eléctricas; de hecho, gran parte de la Cuenca forma parte de la zona de tornados de Sudamérica.

Capítulo 2:

Sistemas de monitoreo, alerta y predicción hidroclimática

En este punto se hará foco en dos aspectos fundamentales: por un lado, en el monitoreo u observación hidrometeorológica propiamente dicha y por otra parte en lo concerniente a la predicción y a las alertas hidroclimáticas.

2.1 Sistemas de monitoreo hidrometeorológico

2.1.1 Observaciones meteorológicas

Las observaciones meteorológicas en general son una de las principales actividades de los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMN). De esta manera en la Cuenca del Plata contamos con cinco de ellos, uno en cada país:

- El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina.
 - El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de Bolivia.
 - El Instituto Nacional de Meteorología (INMET) de Brasil.
 - La Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) de Paraguay.
 - El Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) de Uruguay.
- Estas instituciones son el nexo con la Organización Meteorológica Mundial, que desde 1950 es el organismo de las Naciones Unidas especializado en la meteorología (tiempo y clima), en la hidrología operativa y en las ciencias geofísicas conexas.
- En algunos países, las observaciones meteorológicas también son realizadas por otros organismos nacionales, estatales, provinciales, estatales o municipales. Así, se cuenta con observaciones meteorológicas de alcance nacional o regional, tal como lo realizan, entre otros:
- El Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina.
 - El Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE) de Brasil.
 - El Centro Nacional de Monitoreamiento y Alertas de Desastres Naturales (CE-MADEN) de Brasil.
 - El Sistema Meteorológico de Paraná (SIMEPAR) de Brasil.

- El Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) de Paraguay.
- El Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) de Uruguay.

No obstante, cabe resaltar que, en la Cuenca del Plata, también el sector privado y las organizaciones no gubernamentales tienen participación en las observaciones meteorológicas. Las asociaciones de productores agropecuarios, por ejemplo, tienen una activa participación en este tema: la Federación de Cooperativas de la Producción (FECOPROD) en el Paraguay administra una Red de Estaciones Meteorológicas Agrícolas con transmisión telemétrica y puestas *online* en Internet, y en la Argentina, organizaciones que agrupan a productores agropecuarios como las Bolsas de Cereales, (la de Rosario y la de Entre Ríos, por ejemplo) también disponen de sistemas de observación meteorológica similar.

2.1.2 Observaciones hidrológicas

En algunos países, el servicio meteorológico nacional también es hidrológico, como en el caso de Bolivia, que cuenta con el Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional (SMHN). En esta situación, las observaciones meteorológicas e hidrológicas oficiales corren por cuenta de una misma institución. Sin embargo, en la mayoría de los países de la Cuenca del Plata, las observaciones hidrológicas se realizan por medio de otras instituciones nacionales, por ejemplo:

- La Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH) de Argentina.
- El Instituto Nacional del Agua (INA) de Argentina.
- La Dirección Nacional de Vías Navegables (DNVN) de Argentina.

- La Agencia Nacional de Aguas (ANA) de Brasil.
- La Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP) de Paraguay.
- La Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA) de Uruguay.

Además de estas instituciones, existen entidades regionales o provinciales que también realizan monitoreo hidrológico y entes nacionales que necesitan cubrir fines específicos, como el sector agrícola o energético:

- La Administración Nacional de Electricidad (ANDE) de Paraguay.
- La Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE) de Uruguay.

En el sector hídrico también se destacan las entidades que operan usinas hidroeléctricas en los ríos internacionales e internos en la Cuenca y son operadores de estaciones hidrometeorológicas:

- Itaipú Binacional (IB) de Brasil y Paraguay.
- Entidad Binacional Yacyretá (EBY) de Argentina y Paraguay.
- Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTM-SG) de Argentina y Uruguay.

Considerando lo expuesto anteriormente, se puede observar que la información hidrometeorológica es generada por redes operadas por diferentes actores, públicos o privados, estales o regionales, lo que supone un desafío al momento de integrar la información.

La **Figura 2.1.2.1** muestra la densidad plu-

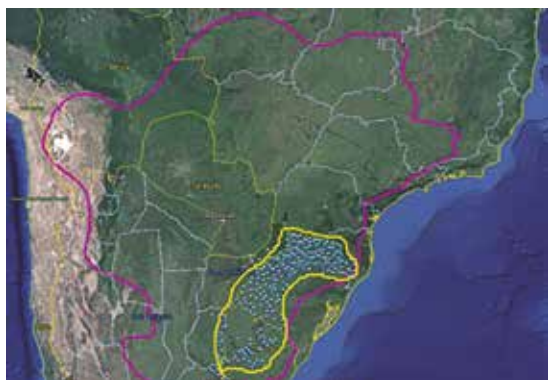
Figura 2.1.2.1 a

Densidad pluviométrica en la cuenca del río Paraná

Figura 2.1.2.1 b

Densidad pluviométrica en la cuenca del río Uruguay

Figura 2.1.2.1 c

Densidad pluviométrica en la cuenca del río Uruguay

viométrica en las subcuencas de los ríos Paraguay, Paraná y Uruguay, notándose la asimetría con respecto a las densidades instrumentales existentes.

Un informe más detallado sobre las redes de observación hidrometeorológica estaría disponible por el Grupo Temático de Recursos Hídricos, Programa Marco, Proyecto Cuenca del Plata, Borsellino, 2014.

2.1.3 Radares meteorológicos en la Cuenca del Plata

El proceso de radarización de la Cuenca del Plata está en marcha. Desde hace unos años, algunos países como Argentina, Brasil y Paraguay cuentan con estos sistemas de observación hidrometeorológica, que representan una herramienta poderosa para la predicción y la alerta hidrometeorológica, con amplia aplicación, como es el caso de la gestión de riesgos de desastres naturales, entre otros.

En la Argentina, entre el 2007 y el 2010 se iniciaron acuerdos entre la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), para crear un sistema de radares que abarcara todo el territorio argentino. Para ello se pensó en aumentar la cantidad de estos sensores integrando los radares existentes con otros nuevos de fabricación nacional. Argentina hasta el presente cuenta con los siguientes radares meteorológicos: un radar meteorológico (RM) en Ezeiza, perteneciente al SMN; un RM Doppler en Pergamino, un RM Doppler en Anguil (La Pampa) y un RM Doppler en Paraná, pertenecientes al INTA; tres RM en Mendoza, un RM en Tabacalera (Jujuy), dependientes de la Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas (DACC); y un RM en la Aeroestación Civil Comandante Espora, en Bahía Blanca, perteneciente al Servicio Hidrológico Naval.

De ellos, los radares meteorológicos que involucran áreas que forman parte de la Cuenca del Plata son los siguientes:

- RM en Ezeiza (dependiente del SMN).
- RM Doppler en Pergamino (dependiente del INTA).
- RM Doppler en Paraná (dependiente del INTA).

En el año 2011 se lanzó el Sistema Nacional de Radares Meteorológicos (SINARAME), desarrollado en forma conjunta por el Ministerio de Planificación Federal y el Ministerio de Defensa, con la participación de la empresa INVAP SE. El proyecto es coordinado y supervisado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH) y tiene por objetivos el desarrollo y la construcción de Radares Meteorológicos Argentinos (RMA) Doppler en Banda C, el diseño e implementación de un Centro de Operaciones (COP) con capacidad para recibir, procesar y analizar los datos de la red nacional de radares meteorológicos e información relacionada y la integración en el COP de los radares existentes en el territorio nacional y los nuevos radares nacionales, optimizando así los recursos disponibles y sus prestaciones. Esta red de radares meteorológicos estará bajo la operación del Servicio Meteorológico Nacional.

El proyecto SINARAME se lleva a cabo en dos etapas: en la primera se desarrollaron y fabricaron los dos primeros Radares Meteorológicos Argentinos, el prototipo RMA 0 y el operativo RMA 1, y se procedió al diseño e inicio de la implementación del Centro de Operaciones (COP) y la integración de los radares existentes con transmisión al COP. El RMA 0 ya se encuentra en funcionamiento en el aeropuerto de San Carlos de Bariloche, mientras que el RMA 1 se instaló en mayo de

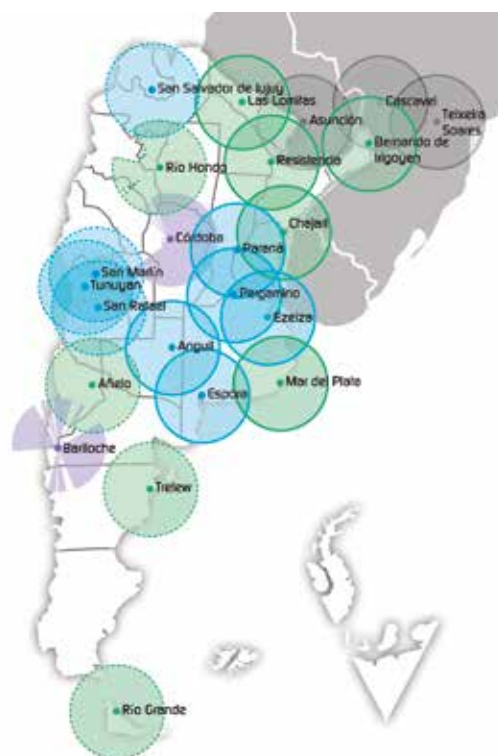
2015 en la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), en la provincia homónima.

Durante 2015–2016, se desarrollaría la segunda etapa del proyecto con la instalación de 10 radares meteorológicos en distintos sitios, cinco centros regionales de procesamiento y 55 estaciones meteorológicas automáticas. En esta segunda etapa el sector argentino de la Cuenca del Plata tendría cinco nuevos radares meteorológicos (Figura 2.1.3.1) en las siguientes localidades:

- Las Lomitas, Formosa.
- Resistencia, Chaco.
- Bernardo de Irigoyen, Misiones.
- Chajarí, Entre Ríos.
- Ezeiza, Buenos Aires.

Figura 2.1.3.1

Distribución de radares del SINARAME



Son integrantes del SINARAME los socios fundadores, el SMN, el INA, el INTA y la SSRH. Actualmente forman parte del proyecto el SHN, la Universidad de Buenos Aires (UBA), el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), la UNC, la Facultad de Matemática, Astronomía y Física (FAMAF), la Armada de la República Argentina (ARA), la DACC, la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC) y Latser SA. El SINARAME no se encuentra cerrado a la integración de otros organismos o entidades.

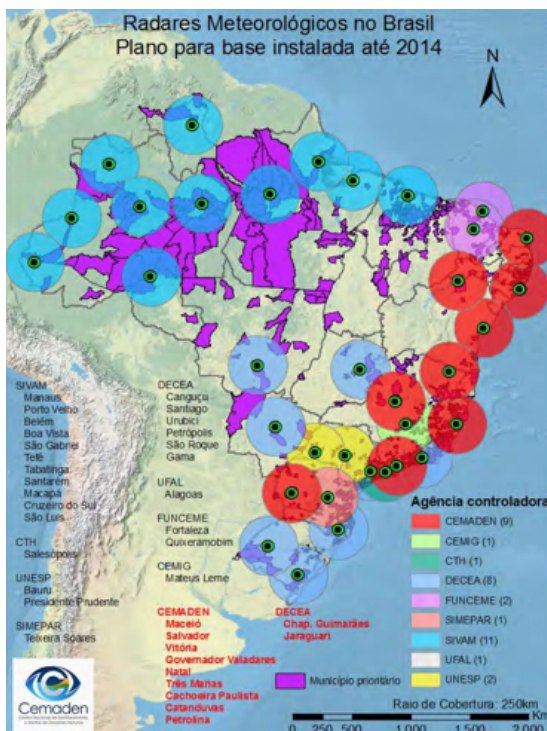
En Brasil, se destaca como uno de los objetivos estratégicos del Plan Nacional de Gestión de Riesgos y Respuestas a Desastres Naturales en Brasil, el hecho de ampliar la red de observación de condiciones de tiempo y clima en dicho territorio. El plan estableció un objetivo a lograr hasta el 2014, que es el mejor acompañamiento posible a 821 municipios considerados prioritarios por tener registros de ocurrencia de desastres naturales, como deslizamiento e inundaciones.

Los radares integran un sistema de prevención y alertas sobre condiciones climáticas extremas, sobre todo cuando la lluvia afecta áreas habitadas y con riesgos de ocurrencia de desastres naturales, pudiendo causar víctimas fatales.

Antes del lanzamiento del plan, en agosto de 2012, la red instalada de radares meteorológicos tenía 23 unidades en operación. Esta red está siendo ampliada con la adquisición, por parte del Centro Nacional de Monitoreamiento y Alertas de Desastres Naturales (CEMADEN), del *Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação* (MCTI), de nueve radares con tecnología de última generación que serán instalados en regiones que hasta ahora no eran monitoreadas por estos sistemas (**Figura 2.1.3.2**).

Figura 2.1.3.2

Red de Radares Meteorológicos en funcionamiento en Brasil



La operación y el mantenimiento de los radares estará a cargo del CEMADEN, en cooperación con el Departamento de Control del Espacio Aéreo (DECEA), el Instituto Mineiro de Gestión de Aguas (IGAM), la Universidad Federal de Alagoas (UFAL) y otras instituciones.

En la parte brasileña de la Cuenca del Plata la cobertura de radares meteorológicos tiende a ser completa y estos son operados por varias instituciones como SIMEPAR (Sistema Meteorológico de Paraná), CEMADEN, DECEA, la Universidad Estatal Paulista «Júlio de Mesquita Filho» (UNESP) y el Departamento de Aguas e Energia Elétrica (DAAE).

En Paraguay, la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil opera, a través de la Direc-

ción de Meteorología e Hidrología, un radar meteorológico ubicado en Asunción. Existen planes de ampliar la red con un radar en el centro de la Región Oriental del Paraguay a fin de obtener una mejor cobertura regional, iniciativa que ayudaría a mejorar la cobertura de radares meteorológicos en la Cuenca del Plata con miras a una integración regional de radares de Argentina, Brasil y Paraguay. La Dirección Nacional de Meteorología e Hidrología (DINAC) mantiene una fluida comunicación con la SSRH y el SIMEPAR en materia de sistemas de observación hidrológica y meteorológica sentando bases para un escenario futuro de ampliación e integración regional de la red de radares.

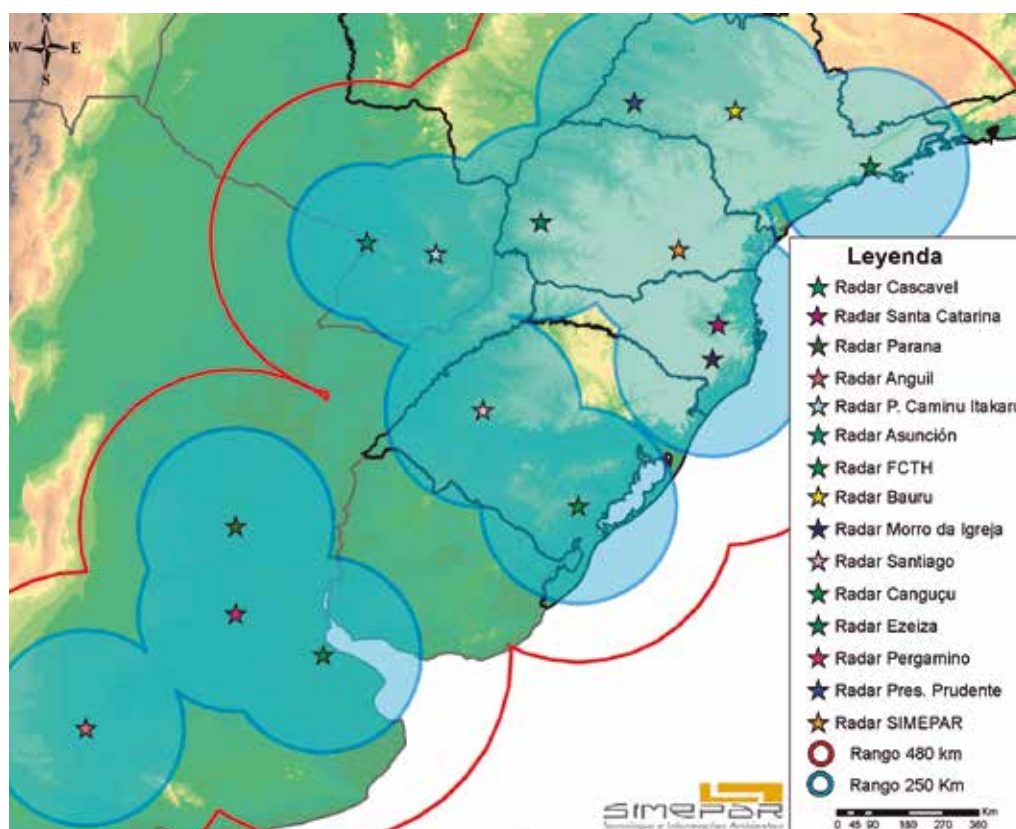
Integración regional de radares meteorológicos

El proyecto de integración de Redes de Monitoreo y Radarización de la Cuenca del Plata ha tenido como iniciativas la realización de dos talleres relacionados con el tema: el primer taller se realizó en la Ciudad de Buenos Aires en septiembre de 2012 y el segundo taller de Sistemas de Alerta, Integración de Redes de Monitoreo y Radarización de la Cuenca del Plata se llevó a cabo en la Ciudad de Asunción en mayo de 2014. Los resultados de estos talleres se encuentran disponibles en CIC-Plata. Una visión particular sobre la integración de radares que se disponía en aquel momento se visualiza en la Figura 2.13.3, integrando los radares de Ar-

Figura 2.13.3

Radares meteorológicos en la Cuenca del Plata, mayo de 2014

Fuente: SIMEPAR



gentina, Brasil y Paraguay. En la actualidad esta visión sería más completa si se considera el plan de radarización del norte de Argentina mencionado anteriormente.

La posibilidad de ampliar la red de radares en la Cuenca del Plata e interconectarlos es un desafío que supone enormes beneficios en la mejora de los sistemas de alerta hidrometeorológica regional. La posibilidad de que funcione un radar meteorológico en Uruguay, y esté integrado regionalmente, ayudaría a cerrar los espacios vacíos en las observaciones de radar meteorológico en la Cuenca del Plata.

2.1.4 Satélites meteorológicos

La información procedente de satélites meteorológicos es sumamente útil con fines hidrometeorológicos ya que proporciona datos actualizados de las condiciones meteorológicas que afectan grandes áreas, y constituye una herramienta de observación complementaria para obtener información de zonas o áreas geográficas con escasa o nula información, como también para el seguimiento y el desarrollo de sistemas meteorológicos de escala sinóptica, precipitantes o no, que puedan aportar información para pronósticos y alertas. En la Cuenca del Plata son varias las fuentes de información que actualizan datos e imágenes cada 30 minutos. Los Servicios Meteorológicos y Centros Meteorológicos de la región procesan información del satélite GOES-13 y están disponibles en tiempo real (Figura 2.1.4.1). Varios son los tipos de imágenes disponibles en forma operativa durante todo el día, por ejemplo:

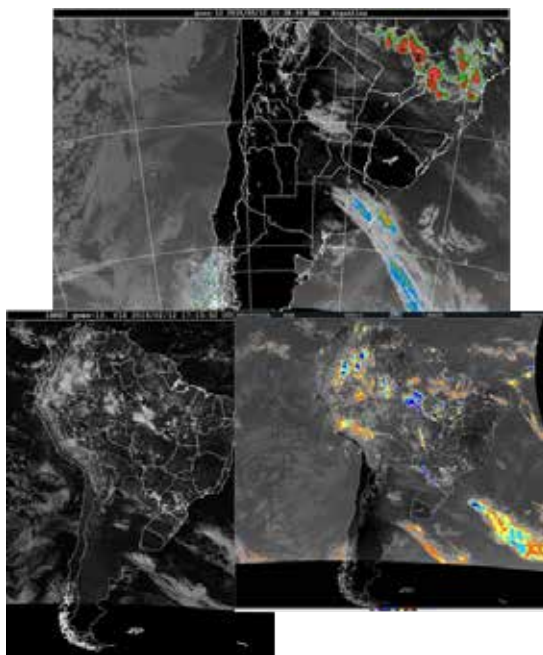
- Imagen infrarroja: muestra la radiación térmica o radiación en forma de calor emitida por la superficie terrestre y por las nubes (no es la radiación reflejada), por lo que es una representa-

ción de temperaturas. Cuanto más caliente es una nube o una superficie, más oscura aparece en la imagen. No necesitan de luz solar para obtenerse. Por ello se toman durante las 24 horas (de día y de noche).

- Imagen visible: corresponde a lo que ve el ojo humano (en blanco y negro, no en color). La luz visible que recibe el satélite es la luz del sol reflejada en la superficie terrestre y en las nubes: lo que aparece más brillante (o blanco) es lo que más refleja la luz del sol. Se toma únicamente de día.
- Topes nubosos: se trata de unas imágenes infrarrojas en color en las que las áreas de temperaturas más bajas han sido reforzadas o realizadas a través de procesos de digitalización. Se les aplican colores preestablecidos, apareciendo así las temperaturas de topos nuboso-

Figura 2.1.4.1

Imágenes del satélite geoestacionario GOES-13



sos. El objetivo es delinear los sistemas de nubes principales y resaltar las áreas de nubes de tormenta (topes de las nubes más altas y frías) y, de esta forma, diversas áreas en donde existen probables precipitaciones.

- Vapor de agua: representan la cantidad de vapor de agua de la atmósfera. Son útiles para indicar zonas de aire húmedo y seco. Los colores oscuros indican aire seco, mientras que un blanco más brillante indica que el aire es más húmedo.

Productos procedentes de otros satélites, en general de órbita polar, están disponibles con el aporte de información complementaria, como el agua precipitable, índices de inestabilidad y otros.

2.1.5 WIGOS

Subdivisión del Sistema Mundial Integrado de Sistemas de Observación de la OMM

WIGOS: futuro eje de nuestro planeta para observaciones sobre el tiempo, clima y agua

WIGOS es una propuesta integrada para mejorar y desarrollar el sistema de observación de la OMM. WIGOS fomentará la evolución ordenada de los actuales sistemas de observación de la OMM (GOS — *Global Observation System*—, GAW —Glo-

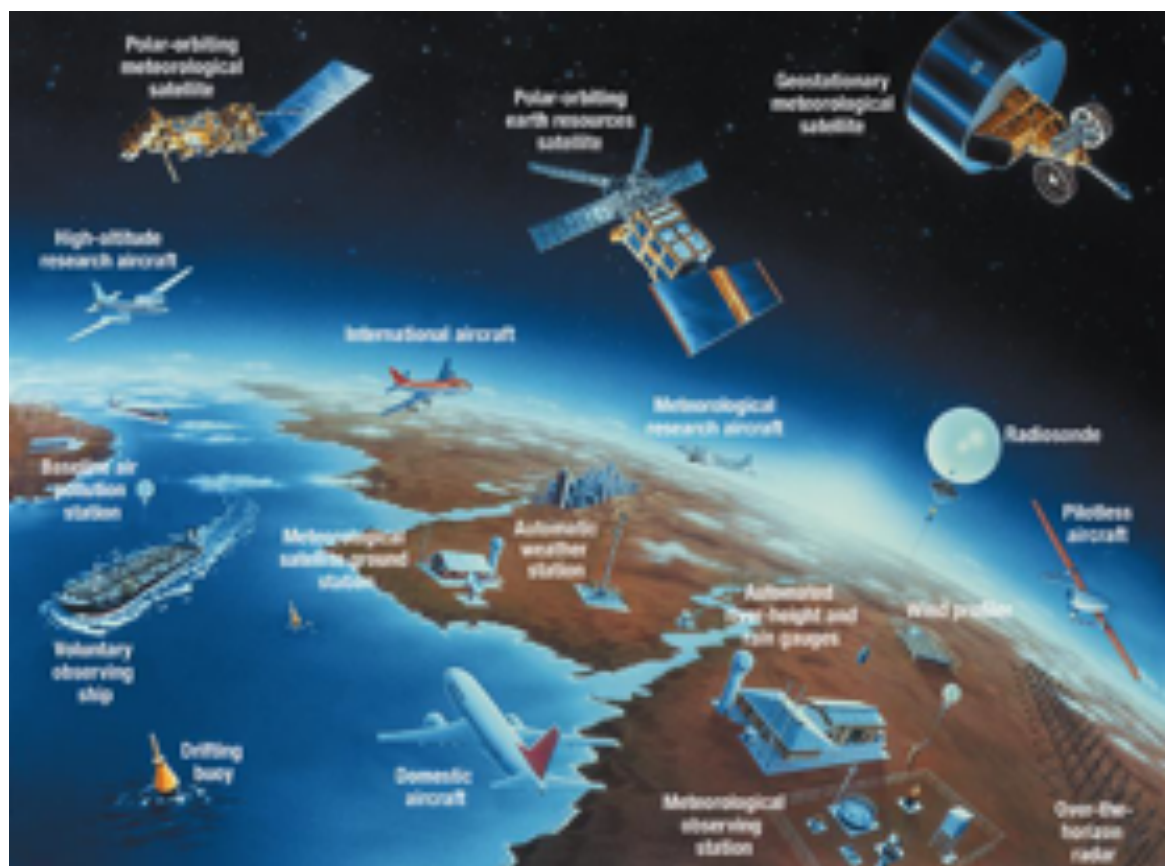
bal Atmosphere Watch—, WHYCOS —*World Hydrological Cycle Observing System*—) operados por miembros en un sistema de observación integrado, inteligente y coordinado (**Figura 2.1.5.1**).

Esto cubrirá los crecientes requerimientos de observación de los miembros de la organización, a un costo efectivo y de manera sostenible mejorando la coordinación de los sistemas de observación de la OMM con aquellos de organizaciones internacionales asociadas. WIGOS, apoyado por el Sistema de Información de la OMM (SIO), será la base para brindar observaciones y productos seguros, confiables y a tiempo relacionados con el tiempo, el clima, el agua y el medioambiente para todos los miembros y programas de la OMM, lo cual servirá para mejorar el servicio de entrega. WIGOS permitirá a los miembros, en coordinación y colaboración con otras agencias nacionales, dar una mayor respuesta ante desastres naturales; mejorar los servicios de monitoreo y predicción de tiempo, agua, clima y medioambiente; y adaptarse a y mitigar el cambio climático, especialmente en países en desarrollo y menos desarrollados. De esta forma, mejorará las habilidades de los miembros de la OMM para cumplir con los requerimientos nacionales de expansión y alcanzar mayor visibilidad nacional con otras agencias relacionadas con el medioambiente.

Figura 2.1.5.1

Ilustración de algunos de los múltiples sistemas de observación en uso en tierra, mar, atmósfera y desde el espacio para el monitoreo del tiempo, clima, agua y otras variables ambientales relativas a estos

Fuente: OMM



2.2 Sistemas de alerta y predicción hidroclimática

Actualmente son varias las fuentes de información hidrometeorológica en la Cuenca del Plata, sean estas procedentes de estaciones meteorológicas e hidrológicas, plataformas de colecta de datos, satélites, radares, etcétera. Con estas herramientas de monitoreo disponibles en la actualidad, cada vez con mayor tecnología y velocidad de acceso a los datos y también de procesamiento, son varias las instituciones que realizan el procesamiento de los datos hidrometeorológicos en tiempo real a fin de generar información a partir de los datos básicos, y así, obtener una secuencia hidroclimática, una predicción o una alerta hidroclimática, y son varios los ejemplos que pueden señalarse en la Cuenca del Plata. A continuación se mencionarán, por cuestiones de practicidad, ya que los ejemplos abundan, algunos productos relevantes en los distintos países de la Cuenca del Plata.

2.2.1 Argentina

Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

Entre las funciones del SMN, se encuentra la de «realizar y difundir alertas meteorológicas ante situaciones meteorológicas que pongan en riesgo la vida o el patrimonio de los habitantes». En la actualidad se producen para el territorio nacional alertas de cuatro tipos:

- Preaviso de alerta.
- Aviso a corto plazo.
- Alerta.
- Alerta por fenómenos persistentes.

A modo de ejemplo, se dan a conocer, a con-

tinuación, algunos de los productos y servicios organizados por los Servicios Climáticos.

Monitoreo de precipitación por satélite

El Servicio Meteorológico Nacional elabora mapas de precipitaciones acumuladas en 10 días para el último mes y, a nivel mensual, para los últimos 12 meses, derivados de las estimaciones satelitales de precipitación provistas por la misión Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), un esfuerzo conjunto entre la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) y la *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). El producto experimental multisatélite de precipitación, denominado TRMM 3B42, es generado a partir de la información extraída de las imágenes en banda visible (VIS), infrarrojo (IR), microondas pasivas (MW) y del radar a bordo del satélite TRMM, combinadas con información IR de otros satélites. Las características básicas de esta información son:

- Resolución espacial: 0.25° x 0.25°.
- Resolución temporal: 3 horas.
- Dominio global: 50°N – 50°S.
- Disponibilidad: desde el 31 de diciembre de 1997.

En la **Figura 2.2.1.1** se presentan los productos correspondientes a la última década de enero de 2015 y al mes de enero 2015 en su totalidad.

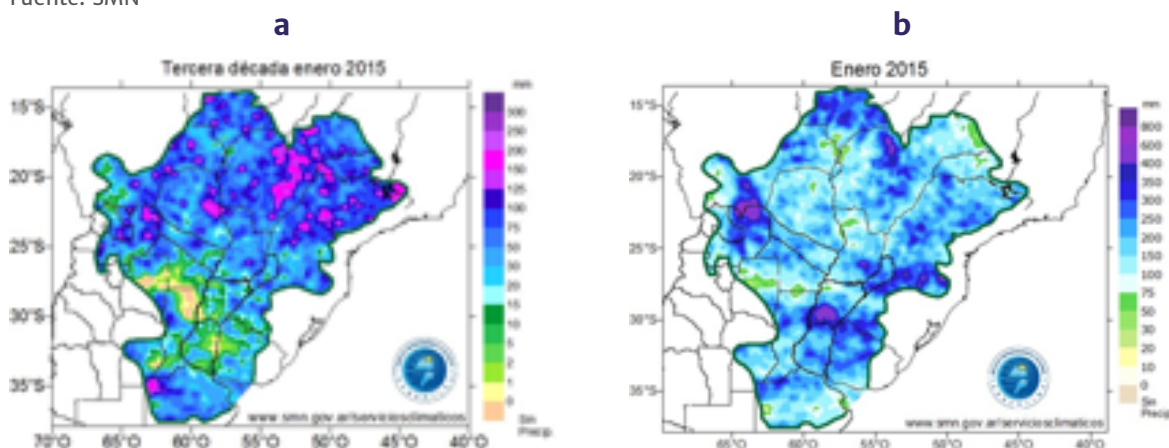
Análisis de la precipitación acumulada y anomalías en la Cuenca del Plata

El SMN realiza un monitoreo y un análisis de las componentes hidrometeorológicas para la Cuenca del Plata en su conjunto. Los productos elaborados que se muestran corresponden a mapas de precipitación acu-

Figura 2.2.1.1

Precipitación acumulada durante la última década de enero 2015 (a) y en el mes completo (b) en la Cuenca del Plata. Las unidades están expresadas en milímetros

Fuente: SMN



mulada y anomalías de precipitación en 10 días para el último mes, así como a nivel mensual para los últimos 12 meses a partir de mediciones realizadas en estaciones meteorológicas de superficie. En la **Figura 8** y en la **Figura 2.2.1.2** se muestran, a modo de ejemplo, estos productos correspondientes a enero de 2015.

Análisis de precipitación estimada y prevista a nivel de subcuencas de la Cuenca del Plata

El SMN produce también gráficos con la frecuencia relativa porcentual de la precipitación estimada mediante información satelital (TRMM) en las distintas subcuencas de la Cuenca del Plata, definidas de acuerdo con los límites que se indican en la **Figura 2.2.1.3**. En estos gráficos, se representan los valores de precipitación en forma de intervalos e indican la frecuencia relativa en términos de la cantidad de puntos dentro del dominio de una subcuenca con respecto al total de esta en los cuales se registra un valor de precipitación en un intervalo de-

terminado. Este producto permite realizar, en forma diaria, un monitoreo del comportamiento de la precipitación acumulada en los últimos 10 días (década) para cada subcuenca. De esta forma, se representa en forma resumida la distribución de los valores de precipitación para los últimos diez días, focalizada en el área de interés.

A partir de estos gráficos puede identificarse fácilmente si hubo mayor frecuencia de ocurrencia de valores de precipitación altos o bajos a lo largo de la región y se ofrece una cuantificación de la proporción del área respecto del total de la subcuenca que ha registrado esos umbrales en términos de la frecuencia relativa de píxeles (puntos). La **Figura 11a** presenta, a modo de ejemplo las frecuencias relativas porcentuales de diferentes rangos de precipitación para el tramo medio de la cuenca del río Uruguay estimados en los últimos 10 días a partir de información satelital.

Para complementar la información provista por los datos de satélite sobre la si-

Figura 2.2.1.2

Precipitación (mm) acumulada para la última década de enero 2015 (a) y su correspondiente anomalía (b) en la Cuenca del Plata

Fuente: SMN

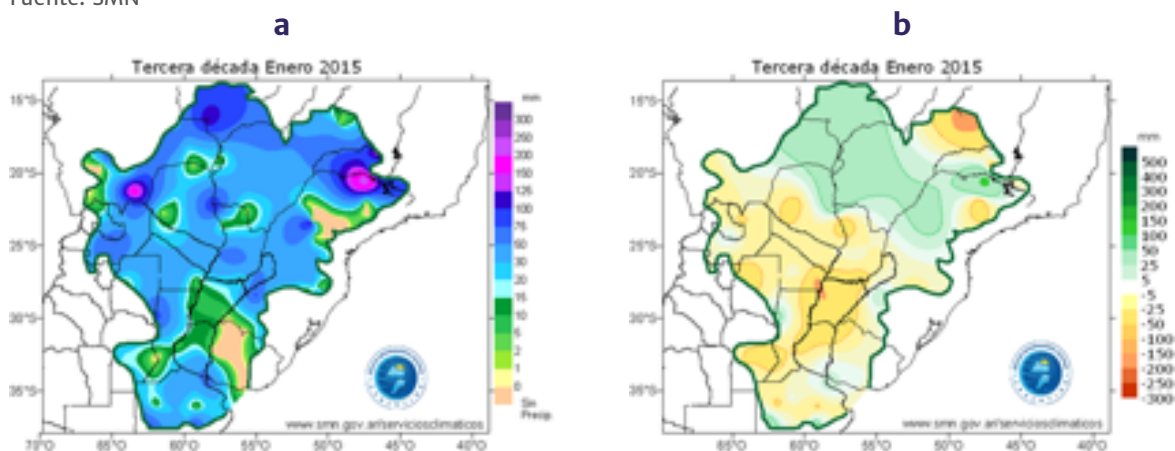
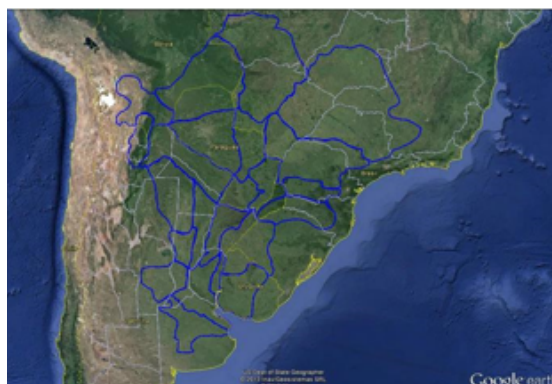


Figura 2.2.1.3

Subcuencas de la Cuenca del Plata con disponibilidad de estimaciones de precipitación acumulada en 10 días y pronósticos para los seis días siguientes en base a estimación satelital



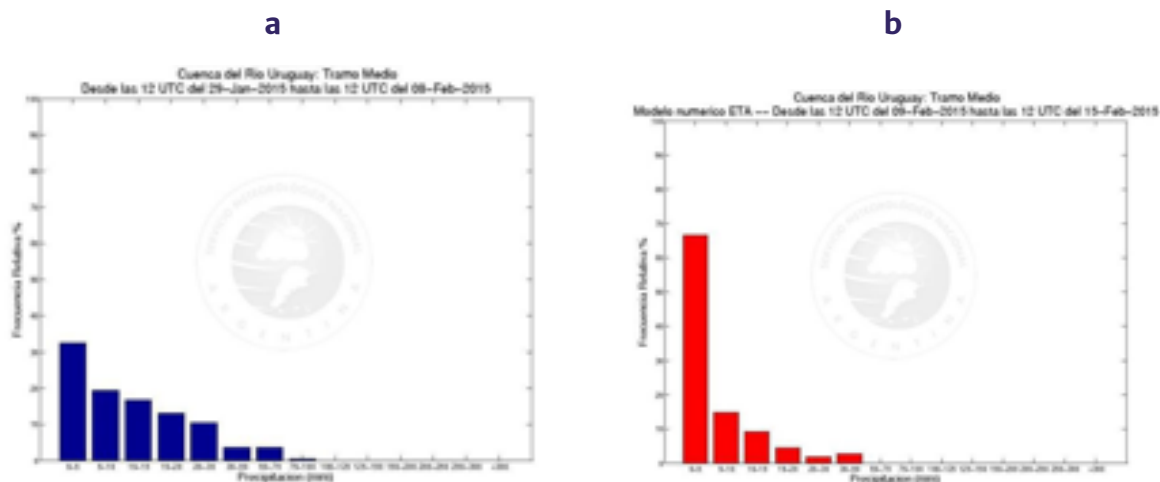
tuación hídrica actual de cada subcuenca (desde el punto de vista de la precipitación), se presentan también histogramas de la cantidad de lluvia pronosticada por el Modelo ETA del SMN para los siguientes seis días para cada subcuenca. En este caso, el histograma representa la distribución de frecuencia relativa en forma porcentual de la precipitación pronosticada en las distintas subcuencas de la Cuenca del Plata. Es decir, la cantidad de puntos dentro del dominio de una subcuenca con respecto al total de puntos de esta, en los cuales se pronostica un valor de precipitación dentro de un intervalo determinado. Como ejemplo, la **Figura 2.2.1.4** presenta el histograma de lluvia pronosticada para los siguientes seis días para el tramo medio de la Cuenca del río Uruguay.

En el sitio www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos se puede encontrar información climática e hidroclimática proveniente del Servicio Meteorológico Nacional.

Figura 2.2.1.4

Histogramas de precipitación acumulada en los últimos 10 días en el tramo medio de la cuenca del río Uruguay (a) y pronóstico de frecuencia relativa de ocurrencia de rangos de precipitación para los siguientes seis días en la misma cuenca (b)

Fuente: SMN



Instituto Nacional del Agua (INA)

Sistema de Alerta Hidrológico de la Cuenca del Plata (SIyAH)

El Instituto Nacional del Agua (INA), organismo descentralizado dependiente de la Subsecretaría de Recursos Hídricos, Secretaría de Obras Públicas, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, es el responsable del desarrollo y la operación del Sistema de Información y Alerta Hidrológico de la Cuenca del Plata en la Argentina.

Los objetivos del Sistema de Alerta Hidrológico son:

- Prever, con la mayor atención posible, eventos de inundación o de estiajes pronunciados.
- Conocer, en todo momento, el estado de la cuenca.

- Producir, regularmente, pronósticos hidrológicos en puntos de interés.

El Sistema de Información y Alerta Hidrológico (SIyAH) se apoya en una Red Hidrométrica Nacional (conformada por 42 estaciones) y en una Red Hidrométrica Internacional (compuesta por 30 estaciones). En la **Figura 2.2.1.5** se presentan en forma esquemática las cuatro etapas básicas que conforman el SIyAH.

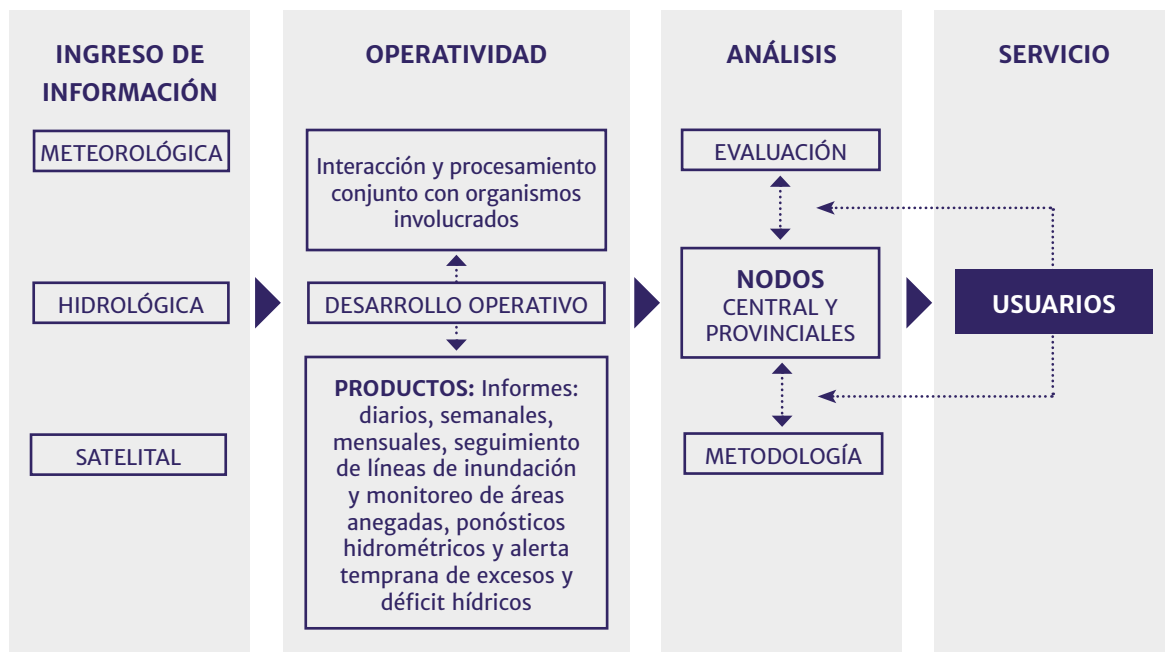
En 2013, en coincidencia con el Año Internacional de la Cooperación del Agua, la República Argentina enfrentó el futuro integrando redes, con la participación de entidades nacionales, provinciales y municipales, y de organizaciones de cuenca, universidades y empresas, alcanzando un total de 3067 estaciones hidrometeorológicas (**Figura 2.2.1.6**).

A continuación se mencionan los productos generados, que son públicos y se en-

Figura 2.2.1.5

Descripción de la etapas de conforman el SIyAH

Fuente: Dirección de Sistema de Información y Alerta Hidrológico, INA



cuentran disponibles en la página web del SIyAH (<http://www.ina.gov.ar/alerta/index.php?alerta=siyah>):

Información hidrológica diaria del Sistema Cuenca del Plata (Figura 2.2.1.7).

- Posibles escenarios hidrológicos en la cuenca del Plata para el trimestre siguiente.
- Previsión a corto plazo de la precipitación.
- Modelación y pronóstico hidrológico de alturas del río Paraná.
- Productos derivados de sensores remotos.

La siguiente figura exhibe, a modo de ejemplo, un pronóstico elaborado en febrero de 2015. Cabe aclarar que los pronósticos de altura del río Paraná en diferentes puntos del

sector argentino se realizan, en situaciones normales, a plazos de entre cinco y 10 días.

En crecidas o bajantes significativas se pronostican máximos o mínimos, respectivamente, fechas en las que se alcanzarían determinados niveles críticos y las permanencias por encima (o por debajo) de estos.

Programa ALERT.AR: pronóstico meteorológico para la alerta temprana de eventos severos

El programa ALERT.AR, financiado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Producción del Ministerio de Defensa está siendo implementado desde el año 2014 por el Servicio Meteorológico Nacional, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) con la finalidad de generar pronósticos meteorológicos

Figura 2.2.1.6

Sistema de Información y Alerta Hidrológico (SiyAH)

Fuente: INA

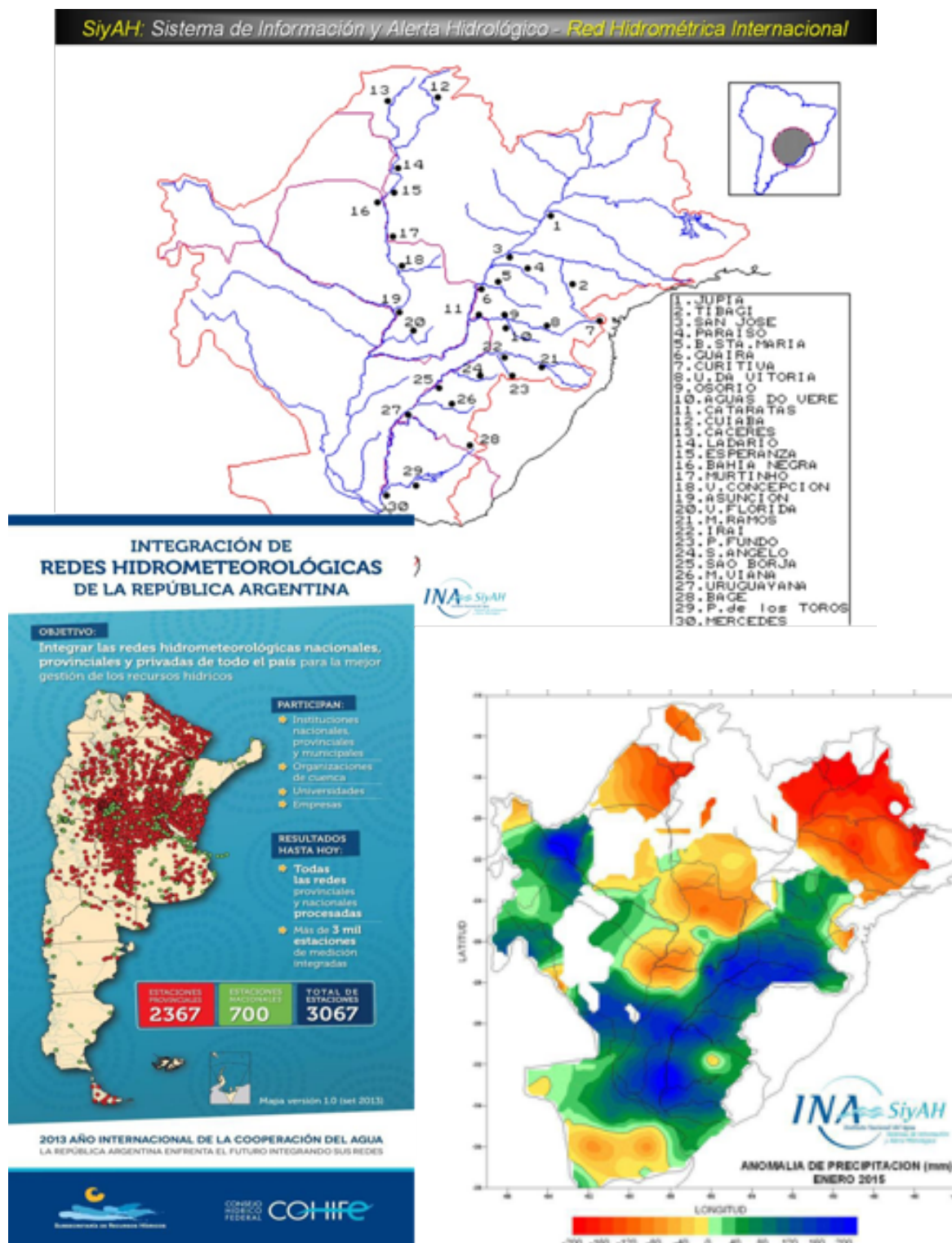


Figura 2.2.1.7

Información diaria de alturas y caudales hidrométricos en el sector argentino de los ríos Iguazú, Paraguay, Paraná, Uruguay y delta del Paraná

Fuente: SlyAH

Niveles Hidrométricos (cm) - Fecha: 05/02/2015									
Estación	Lectura (Cm.)	Var. Diaria	Nivel Alerta	Nivel Evac.	Estación	Lectura (Cm.)	Var. Diaria	Nivel Alerta	Nivel Evac.
Río Iguazú									
Andresito	156	4	1050	1350	Iguazú	1380	-20	2500	4000
Río Paraguay									
Pilcomayo	234	1	535	600	Formosa	380	1	780	830
Bermejo	398	3	650	700	Isla del Cerrito	SD	-	620	680
Río Paraná									
Libertad	1440	80	2900	3100	El Dorado	1070	-30	2100	2300
Posadas	1032	2	1100	1200	Ituzaingó	154	0	350	400
Ita Ibate	236	20	700	750	Itatí	388	-6	680	750
Corrientes	363	-10	650	700	Barranqueras	354	-19	600	650
Bella Vista	380	6	600	640	Goya	397	1	520	570
Reconquista	350	4	510	530	Esquina	387	-2	500	540
La Paz	468	-2	580	615	Santa Elena	480	-8	690	725
Paraná	402	-4	470	500	Santa Fe	446	-4	530	570
Diamante	458	-4	530	550	Rosario	425	0	500	530
Delta del Paraná									
V. Constitución	360	-2	400	450	San Nicolás	328	-1	420	500
Ramallo	298	0	350	400	Victoria	449	0	460	490
Ibicuy	120	5	280	310	Paranacito	155	-25	230	260
San Pedro	224	-14	340	360	Baradero	206	-12	280	310
Zárate	95	-25	200	220					
Río Uruguay									
Pepirí Miní	310	-30	-	-	El Soberbio	274	-5	-	-
Alba Posee	290	40	-	-	Panambí	220	20	-	-
San Javier	287	4	800	1000	Pto. Concepción	264	12	1550	1650
Garruchos	386	100	1200	1400	Santo Tomé	455	-3	1050	1200
Alvear	419	-30	950	1100	Paso de los Libres	413	-15	750	850
Monte Caseros	358	-4	750	850	S. Grande Arr.	3499	-9	3550	3600
S. Grande Abajo	774	-37	1730	1780	Concordia	580	0	1100	1250
Colón	316	-12	710	790	Conc. Uruguay	258	-10	530	630
P. Gualeguaychú	1710	2	350	380	B. Gualeguaychú	170	0	290	315

Fuente: Prefectura Naval Argentina - Comisión Técnica Mixta Salto Grande - Entidad Binacional Yacyretá

Caudales Hidrométricos (m³/s) - Fecha 05/02/2015

Estación	Valor calculado	Estación	Valor calculado
Andresito	2079	Corrientes	17630
Yacyretá Erog.	13900	Paso de los Libres	5030
Santo Tomé	2870	Aporte S. Grande	5986
Pilcomayo	2386		

capaces de determinar las condiciones ambientales para el desarrollo de eventos extremos con un alto impacto en la población y sus bienes.

El objetivo general del programa es desarrollar e implementar, en el ámbito operacional, múltiples herramientas de análisis de la información proveniente de sensores remotos y modelos numéricos. Dicho análisis hará posible la toma de decisiones en tiempo real para mejorar la velocidad de respuesta de las alertas meteorológicas y permitirá paliar las pérdidas humanas, económicas y sociales que generan las tormentas.

Sistemas de alerta para subcuencas específicas dentro de la Cuenca del Plata: sistema de alerta del río Salado

Como consecuencia de su localización y de su geología, la provincia de Santa Fe es sumamente vulnerable a una variedad de amenazas naturales, especialmente a inundaciones. Allí funciona la red de alerta del río Salado, dependiente del Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente de la provincia.

El río Salado es uno de los principales afluentes del río Paraná en territorio argentino y su cuenca tiene una superficie de 94 750 km². Descarga sus aguas entre las ciudades de Santa Fe (350 mil habitantes.) y Santo Tomé (60 mil habitantes) con un caudal módulo de 144,70 m³ s⁻¹.

Las condiciones naturales de la cuenca varían enormemente a lo largo de los 1 500 km de longitud del curso, por lo que la cuenca inferior —que abarca una superficie de 30 400 km² y se encuentra casi en su totalidad dentro del territorio de la provincia de Santa Fe—, tiene un comportamiento netamente diferenciado del resto. El régimen hidrológico de esta sección

del río está fuertemente influenciado por las precipitaciones locales y por el aporte de un área deprimida denominada Bajos Submeridionales cuya superficie es de 27 900 km².

El sistema de alerta dispone de información en 38 estaciones remotas: nueve de tipo A1 (correspondientes a medición pluviométrica, pluviográfica y de humedad de suelo), cinco de tipo A2 (medición pluviográfica y freaticográfica, temperatura, humedad relativa, presión barométrica, humedad del suelo, evaporación, radiación solar, velocidad y dirección del viento), 14 estaciones de tipo B1 (medición limnigráfica), y 10 estaciones de tipo B2 (medición limnigráfica y de calidad de agua superficial). Las alturas del río en diversos puntos y su estado con respecto a los niveles de alerta se presentan en la página web www.santafe.gov.ar/idesf/portal/index.php/situacion-hidrica. En la **Figura 16** se muestra, como ejemplo, la modalidad en la que la información se publica.

Sistemas de alerta para áreas urbanas dentro de la Cuenca del Plata: el caso de la ciudad de Santa Fe

La ciudad de Santa Fe se encuentra emplazada entre los valles de inundación de los ríos Salado y Paraná siendo vulnerable a fenómenos hidroclimáticos como crecidas de ambos ríos, a inundaciones por lluvias de mediana o alta intensidad y a la combinación de ambos tipos de eventos. En dicha ciudad se ha establecido un Sistema Municipal de Gestión de Riesgos para dar un marco integral a las acciones tendientes a la reducción de contingencias. El sistema, creado por la ordenanza 11 512 del año 2008, es un espacio destinado a trabajar en la prevención y mitigación de riesgos, en los preparativos para dar una mejor respuesta ante los eventos y en la recupera-

Figura 2.2.1.8

Pronóstico de altura del río Paraná en diferentes estaciones para horizontes temporales de cinco y 10 días

Fuente: SlyAH

Estaciones	Corrientes	Barranqueras	Goya	Reconquista	La Paz	Paraná	Santa Fe	Rosario
Nivel actual (m) 04/02/15	3.75	3.65	3.89	3.40	4.75	4.09	4.51	4.30
Altura media febrero (1989/2013) (m)	4.65	4.65	4.46	4.20	4.70	3.58	3.96	3.57
Nivel de alerta (m)	6.50	6.00	5.20	5.10	5.80	4.70	5.30	5.00
Nivel de evacuación (m)	7.00	6.50	5.70	5.30	6.15	5.00	5.70	5.30
Pronóstico (m) para el 09/02/15	3.41	3.46	3.61	3.08	4.39	3.68	4.10	3.81
	3.53	3.60	3.78	3.27	4.60	3.91	4.36	4.09
	3.65	3.74	3.95	3.46	4.81	4.14	4.62	4.37
Estado								
Pronóstico (m) para el 14/02/15	3.48	3.46	3.53	3.05	4.34	3.66	4.04	3.72
	3.60	3.60	3.70	3.24	4.55	3.89	4.30	4.00
	3.72	3.74	3.87	3.43	4.76	4.12	4.56	4.28

A: Valores que superan el nivel de alerta

E: Valores que superan el nivel de evacuación

S/D: Sin datos

Se indica el rango de confiabilidad del pronóstico

ción posterior a emergencias o desastres. En este marco, se ha desarrollado un sistema de alerta temprana propio para eventos hidrometeorológicos.

En la Figura 2.2.1.5 se presenta el esquema del protocolo básico de acción del sistema de alerta temprana de la ciudad de Santa Fe. Este sistema está conformado por un Centro de Monitoreo con observadores propios que cuenta con información en tiempo real para la toma de decisiones: 13 estaciones meteorológicas automáticas; 20 estaciones meteorológicas asociadas; recepción de datos; e imágenes satelitales e imágenes de radar provenientes del

Servicio Meteorológico Nacional, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y de la Universidad Nacional del Litoral. Además dispone de un Manual de Procedimientos para la actuación municipal ante emergencias por lluvias o crecida de ríos que establece los mecanismos de funcionamiento de las áreas involucradas en la preparación y respuesta, especifica los roles y tareas asignados a los distintos actores a fin de posibilitar una actuación ordenada, rápida y eficaz de la organización municipal ante eventuales emergencias por lluvias. Asimismo, brinda una herramienta de evaluación interna que sirve para conocer el cumplimiento de los pro-

Figura 2.2.1.9

Ejemplo de reporte de alturas del río Salado provisto por el Sistema de Alerta existente en la cuenca

Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales de Santa Fe (IDESF)

MINISTERIO DE AGUAS, SERVICIOS PÚBLICOS Y MEDIO AMBIENTE
SUBSECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS
COORDINACIÓN DE PREVENCIÓN HÍDRICA

Sistema de alerta de la cuenca del río Salado. Enero de 2015. Datos 07 hs.

Estación Telemétrica	Nivel de alerta	Días 29	30	Diferencia (cm.)	Estado actual	Alerta
Tostado	4.00	4.13	4.17	4	C	A
Calchaquí	3.50	S/D	S/D	-	-	
San Justo	9.00	9.19	9.11	-8	B	A
Emilia	4.50	S/D	S/D	-	-	
Recreo	4.70	4.16	4.21	5	C	
Santo Tomé	4.70	4.71	4.72	1	C	A
Las Conchas		2.32	2.16	-16	B	
San Antonio		2.33	2.18	-15	B	
A° Culucú	4.00	0.68	0.85	17	C	
Santa Fe	4.70	4.62	4.68	6	C	
Paso de las Piedras		6.35	6.37	2	C	

C: En Creciente S/D: Sin datos SE: Sin Escala (valor por debajo del Cero de la Escala)

Alturas en metros – Dif. en cm. (En las últimas 24hs.)

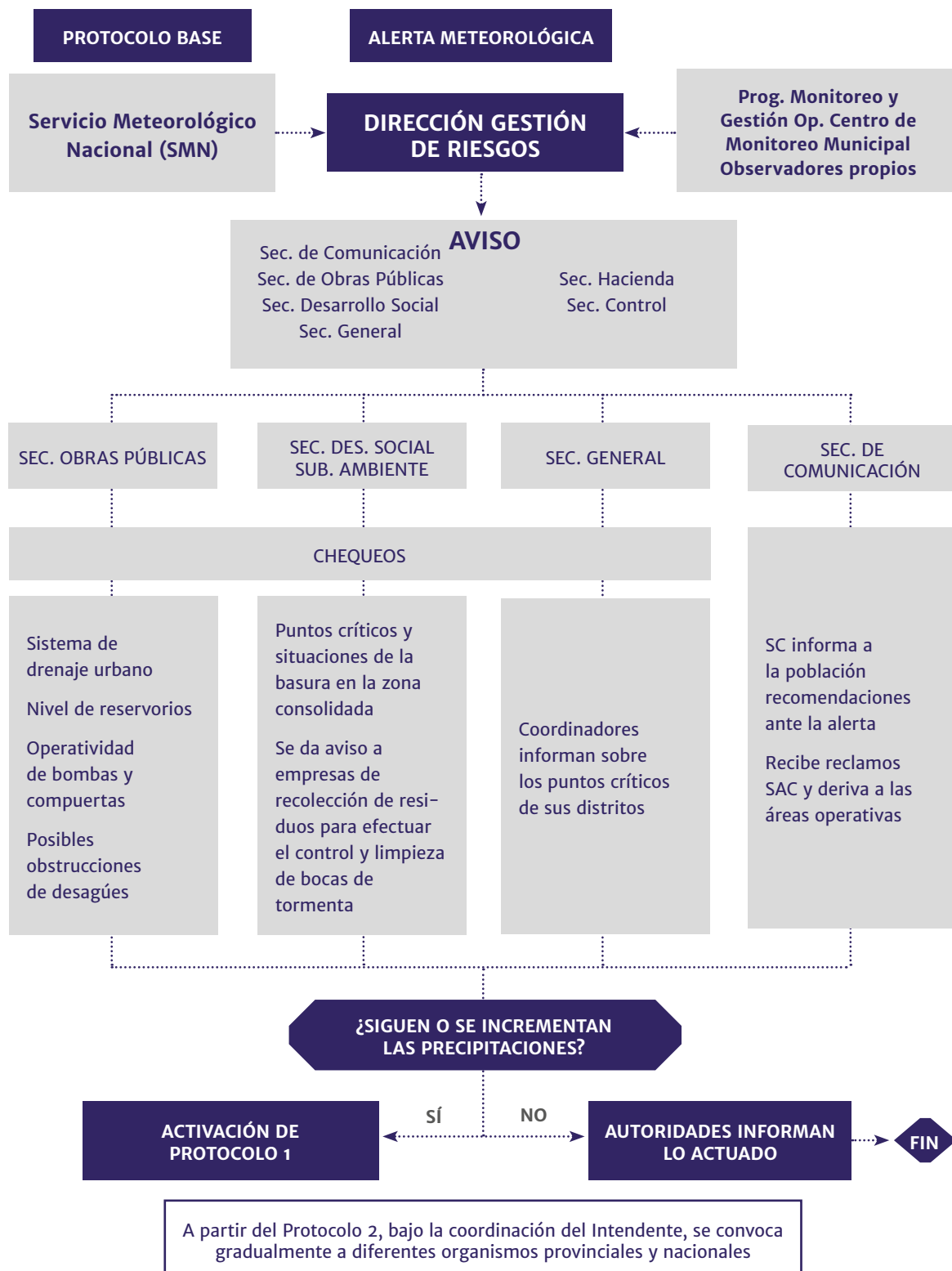
■ Dato observador ■ Dato sensor telemétrico ■ Valor Estimado

cedimientos y es un instrumento de consulta y actualización que permite una identificación clara de las operaciones que se realizan en cada dependencia, Sistema de comunicaciones seguras (VHF), Sistema de Atención Ciudadana a través de una lí-

nea 0800 (asociado al Sistema de Información Geográfica-SIG). Web del Gobierno de la Ciudad/Gestión de Riesgos, <http://santafeciudad.gov.ar/blogs/gestionderiesgos/gestion-de-riesgos/la-gestion/>

Figura 2.2.1.10

Esquema de funcionamiento del sistema de alerta temprana existente en la ciudad de Santa Fe



2.2.2 Bolivia

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

El SENAMHI es la entidad rectora de las actividades meteorológicas, hidrológicas, agrometeorológicas y afines en el ámbito nacional; con representación internacional. Como institución de ciencia y tecnología, presta servicios especializados para contribuir al desarrollo sostenible del Estado Boliviano, atendiendo a los requerimientos de información en el ámbito nacional e internacional. Además, participa en la vigilancia atmosférica mundial y co-

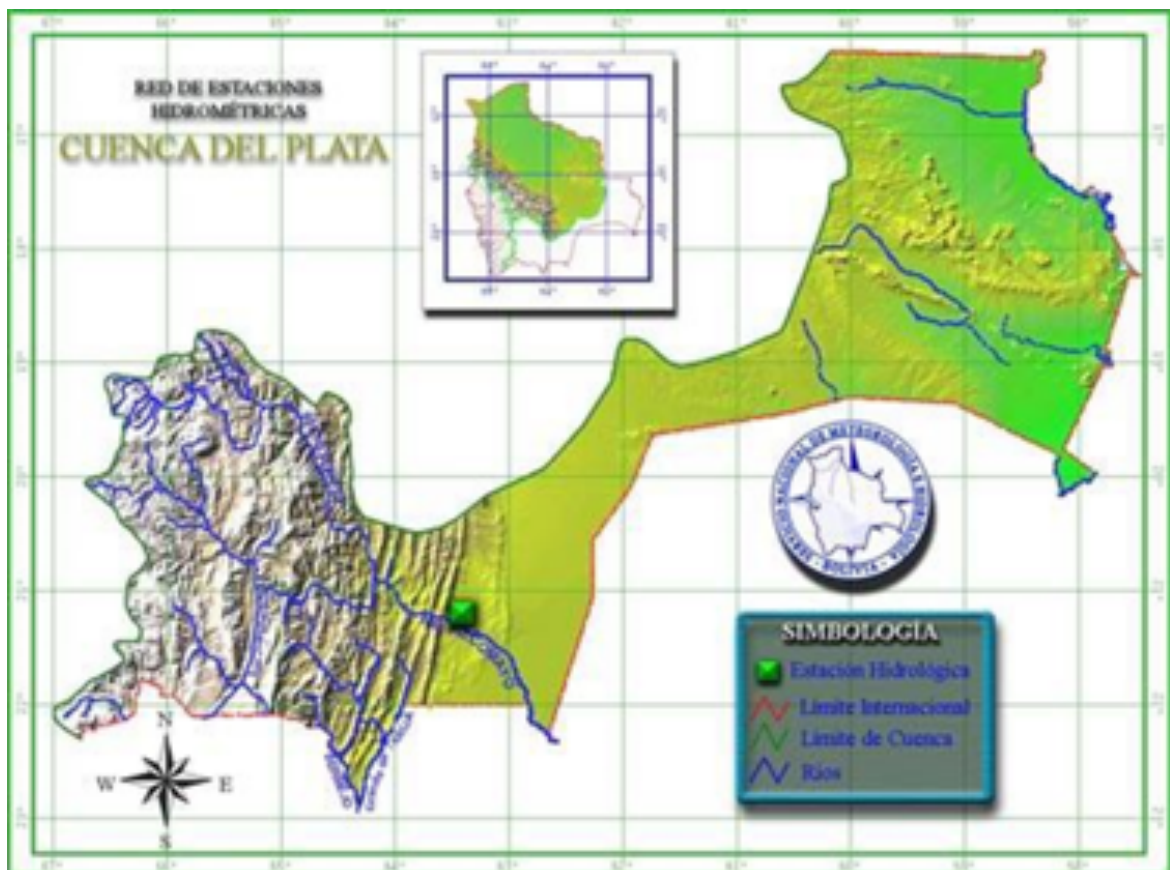
adyuva al sistema de Defensa Civil en la prevención de desastres.

La Cuenca del río de La Plata en Bolivia tiene una extensión de 224 918 km² (Figura 2.2.2.1) y puede ser subdividida en tres grandes subcuencas: la subcuenca del río Paraguay en el sudeste con 99 448 km², la subcuenca del río Pilcomayo al sudoeste con 113 080 km² y la subcuenca del río Bermejo con 12 390 km². Esta última cuenta con un afluente muy importante como es el río Grande de Tarija.

Actualmente, la base de datos del SENAMHI cuenta con información de aproximada-

Figura 2.2.2.1

Red de estaciones hidrométricas en Bolivia, parte de Cuenca del Plata



mente mil estaciones meteorológicas distribuidas en todo el país, incluidas las pluviométricas. El tratamiento de datos ha sido manual hasta el año 1984. Posteriormente se utilizaron planillas electrónicas hasta que, en 1994, se comenzó a implementar el programa CLICOM (*Climate Computing Project*) y desde el año 2002 se utiliza el SISMET, un sistema de procesamiento de datos meteorológicos, desarrollado localmente.

En lo competente a la hidrología, se tiene información de 319 estaciones hidrológicas. En 1983 se introdujo el programa HYDROM para el tratamiento y almacenamiento de la información hidrométrica y el PLUVIOM para la información pluviométrica, ambos programas facilitados por el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Coopera-

ción (ORSTOM), hoy IRD 2002 HYDRACES, siendo este el utilizado actualmente para el tratamiento de datos hidrológicos en el SENAMHI.

Actualmente, la red de estaciones hidrometeorológicas de Bolivia, en la Cuenca del Plata, cuenta con 167 estaciones, 142 estaciones meteorológicas y 23 estaciones hidrológicas.

Existen experiencias en sistemas de alerta temprana, especialmente en los ríos de la cuenca amazónica, como en el río Beni, en el río Madre de Dios y en otros arroyos. El Programa de Gestión de Riesgos de Inundación en el Beni contempla la generación de un sistema para pronóstico hidrológico, el fortalecimiento de la red hidrométrica y el fortalecimiento en equipamiento técnico para el soporte de manejo datos y del modelo.

Figura 2.2.2.2

Sistema Nacional de Alerta Temprana de desastres (SNATD)



Vice Ministerio de Defensa Civil (VIDECI)

Sistema Nacional Integrado de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres

Este sistema de gestión de riesgos es impulsado por el Vice Ministerio de Defensa Civil, que tiene como soporte el Sistema Nacional de Alerta Temprana de Desastres (SNATD). Este último cuenta con el soporte técnico de la plataforma Dewetra (Figura 2.2.2.2).

2.2.3 Brasil

Centro de Predicción de Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC) del INPE

Evolución mensual y estacional de las lluvias en Brasil

El conocimiento histórico de las lluvias mensuales o estacionales es uno de los productos más requeridos e importantes para caracterizar la distribución espacial y tem-

poral de las lluvias observadas, de gran aplicación en sectores como emergencias, energía, agricultura o turismo, y también son la base para un pronóstico climático. El CPTEC pone a disponibilidad gráficos tipo *boxplot* —o diagrama de caja— como un producto de monitoreamiento climático de lluvias mensuales y estacionales para 124 regiones del Brasil. Estos productos fueron generados utilizando una serie histórica de 30 años (1981–2010) de datos de precipitación sobre el país. Figura 2.2.3.1 (www.cptec.inpr.br).

En un modelo de cooperación interinstitucional de Brasil (Figura 2.2.3.3) puede observarse un análisis conjunto sobre la precipitación acontecida en la subcuenca del río Grande, en el Paraná superior, durante un año hidrológico.

Instituto Nacional de Meteorología (INMET)

En su portal de Internet, el INMET proporciona, entre sus nuevos productos climáticos, la información de precipitación acu-

Figura 2.2.3.1

Análisis de precipitaciones por regiones

Fuente: CPTEC

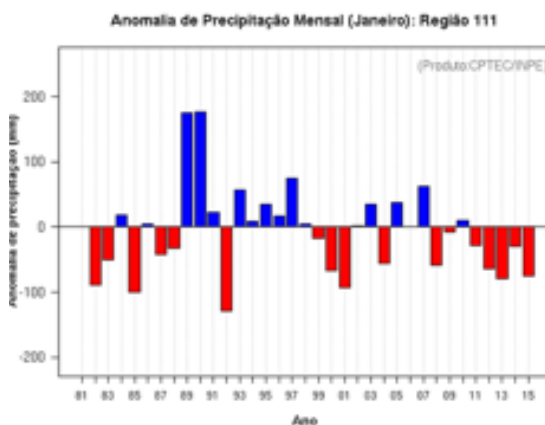
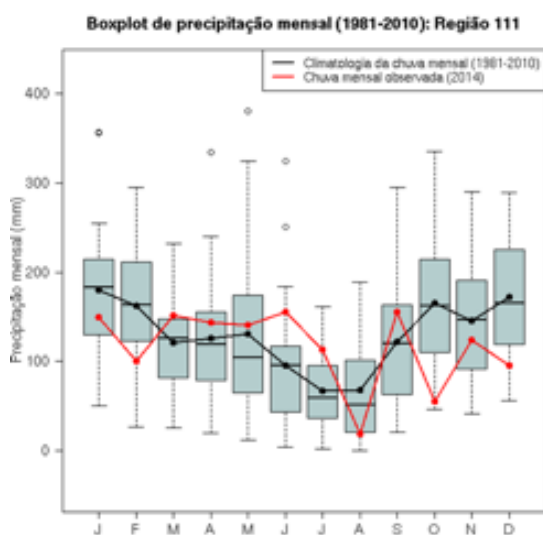


Figura 2.2.3.2

Análisis de precipitación por regiones

Fuente: CPTEC

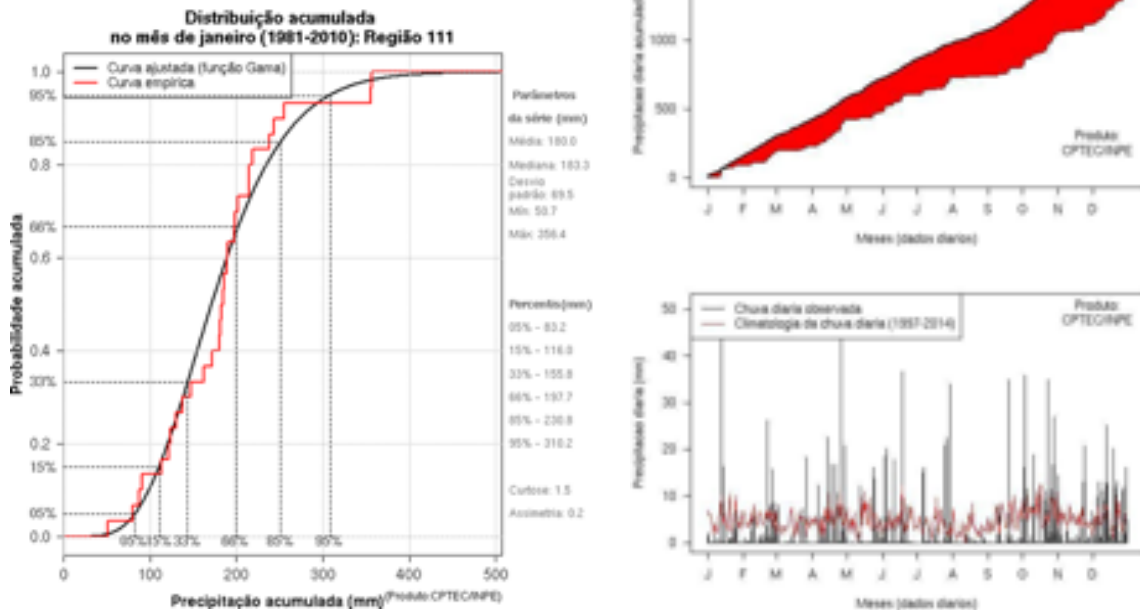
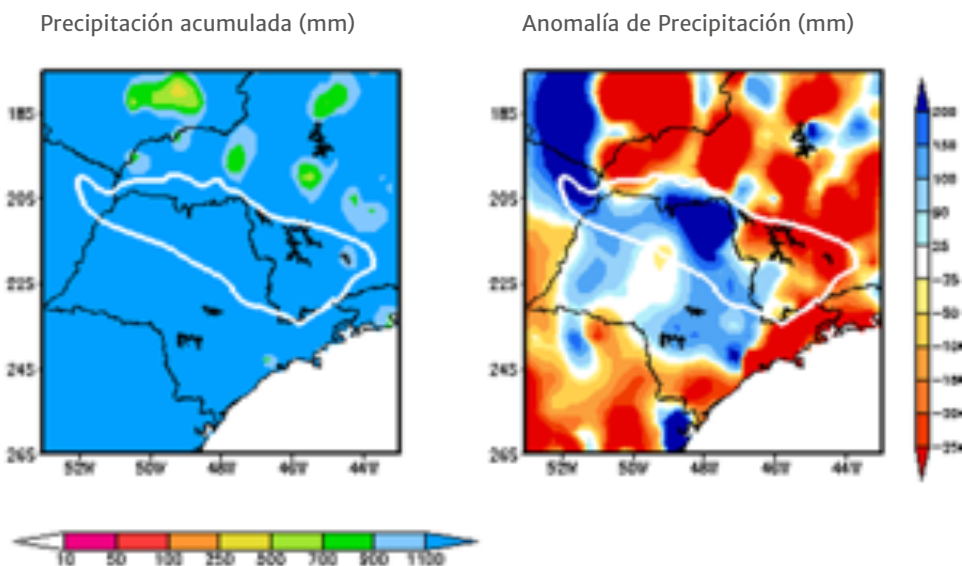


Figura 2.2.3.3

Análisis de precipitación en la subcuenca del Río Grande, en base a una cooperación interinstitucional

01/10/2006 a 30/09/2007



mulada en los últimos días, presentando, por ejemplo, mapas de precipitación acumulada para todo el Brasil para períodos específicos recientes con actualización diaria (Figura 2.2.3.4).

Entre otros productos climáticos, el INMET también pone a disposición productos probabilísticos de la precipitación acumulada trimestralmente con actualización en tiempo real. Esta información se encuentra disponible para una cantidad de estaciones meteorológicas que se muestran en la Figura 2.2.3.5, incluyendo varias estaciones meteorológicas ubicadas en la Cuenca del Plata, y cuya expresión de probabilidad cli-

matológica y probabilidad prevista para el trimestre próximo se presenta en la Figura 2.2.3.6, disponible en www.inmet.gov.br.

Agencia Nacional de Aguas (ANA)

La ANA es la institución que implementa, operacionaliza, controla y examina los instrumentos de gestión creados por la Política Nacional de Recursos Hídricos en Brasil. De esta forma su espectro de regulación sobrepasa los límites de las cuencas hidrográficas con ríos de dominio de la unión, pues alcanza aspectos institucionales relacionados con la regulación de los recursos hídricos en el ámbito nacional.

Figura 2.2.3.4

Precipitación acumulada para uno, tres, cinco, 10 y 16 días

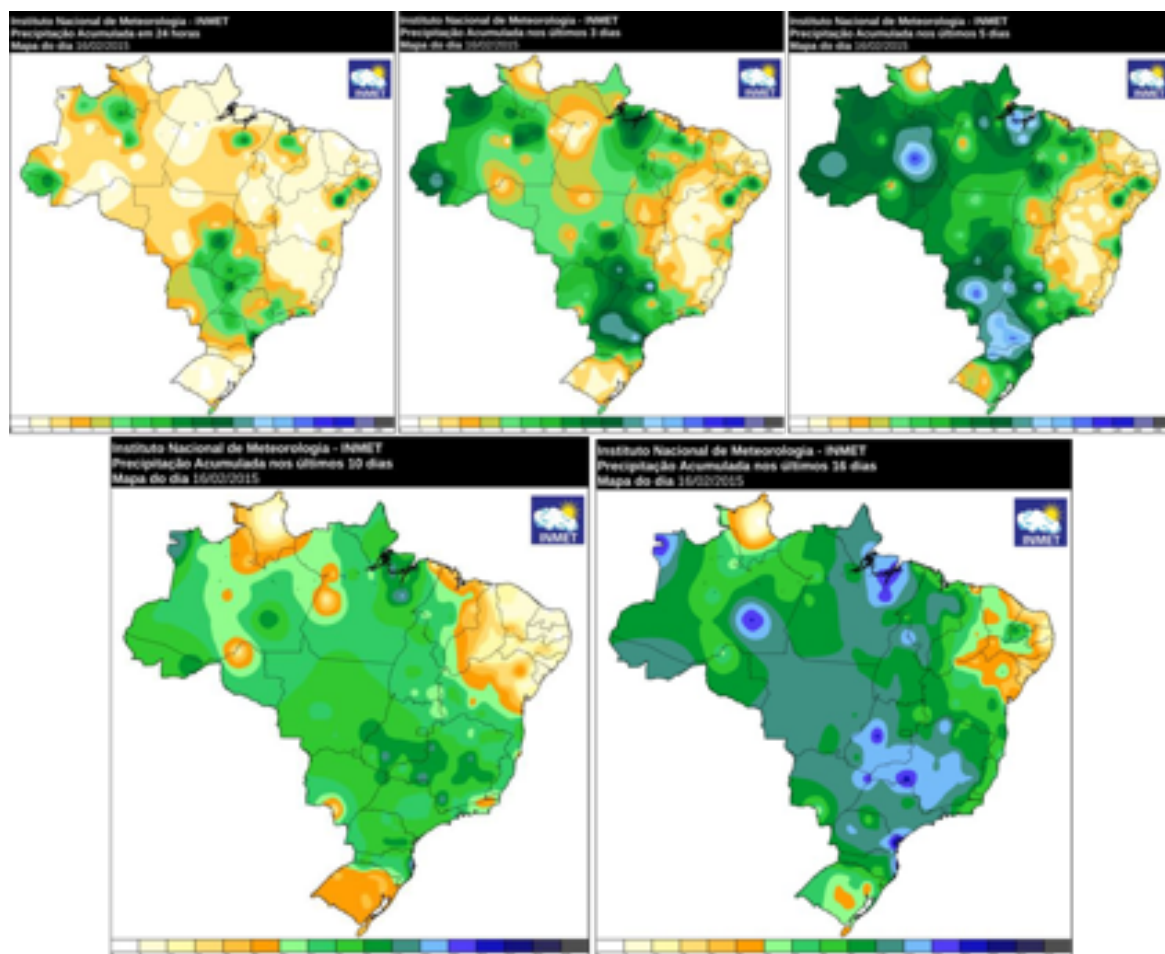


Figura 2.2.3.5

Estaciones con tratamiento y previsión probabilística



Esta agencia, además, es operadora del Sistema Nacional de Informaciones sobre los Recursos Hídricos (SNIRH) donde está disponible el Sistema de Monitoreo Hidrológico (telemétrico), entre otros datos. Algunos productos hidroclimáticos son generados por la ANA en colaboración con otras agencias exteriores a la cuenca. Un ejemplo de ello es la colaboración con el *Climate Prediction Center (CPC)*, del *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Entre los productos elaborados a partir de dicha colaboración, se destacan un análisis de la precipitación para las 12 regiones hidrológicas del Brasil (Figura 2.2.3.7), el comportamiento de las lluvias acumuladas, según datos pluviométricos, para períodos de uno, siete, 30, 90 y 180 días, con sus respectivas anomalías (Figura 2.2.3.8) y los pronósticos de lluvias acumuladas por regiones hidrológicas para períodos de una y dos semanas (Figura 27).

Figura 2.2.3.6

Caso concreto para la estación meteorológica Ivaí, Paraná

Probabilidades Climatológicas e Previstas para o Trimestre FMA de 2015 para a Estação 83811 Ivaí - PR

Classes Quantis	Probabilidade Climatológica	Probabilidade Prevista
< 15%	15 %	36 %
15% - 35%	20 %	26 %
35% - 65%	30 %	24 %
65% - 85%	20 %	10 %
> 85%	15 %	4 %
Classes Tercis	Probabilidade Climatológica	Probabilidade Prevista
< 33%	33 %	60 %
33% - 67%	34 %	27 %
> 67%	33 %	13 %

Previsão realizada em Janeiro de 2015

Figura 2.2.3.7

Regiones hidrológicas de Brasil

Fuente: ANA



Figura 2.2.3.8

Análisis de precipitación, acumulado en 7 días (arriba), y su anomalía (abajo), Cuenca del Plata

Fuente: CPC-ANA

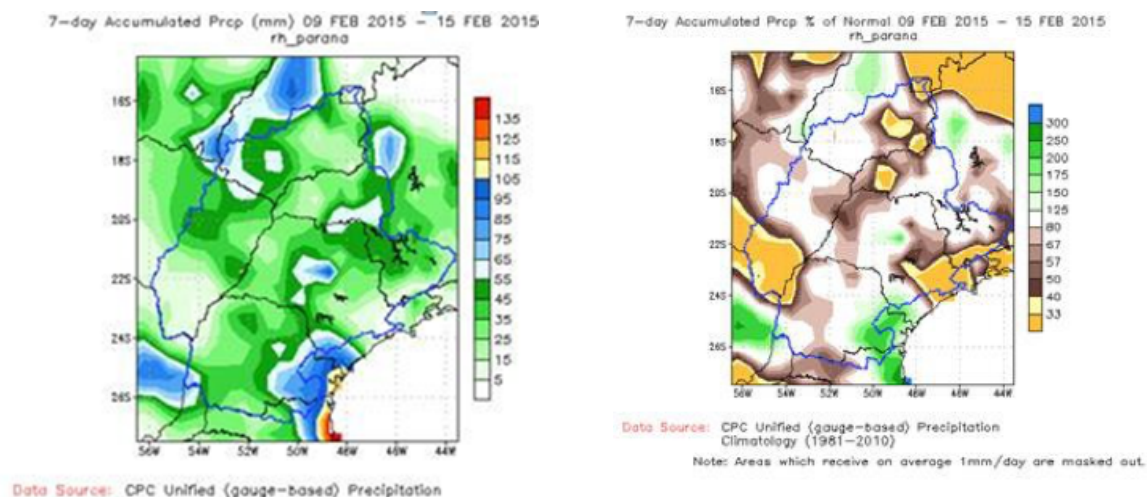


Figura 2.2.3.9

Lluvia diaria acumulada en 30 días en la cuenca alta del río Paraná en base a datos pluviométricos del CPC (NOAA)

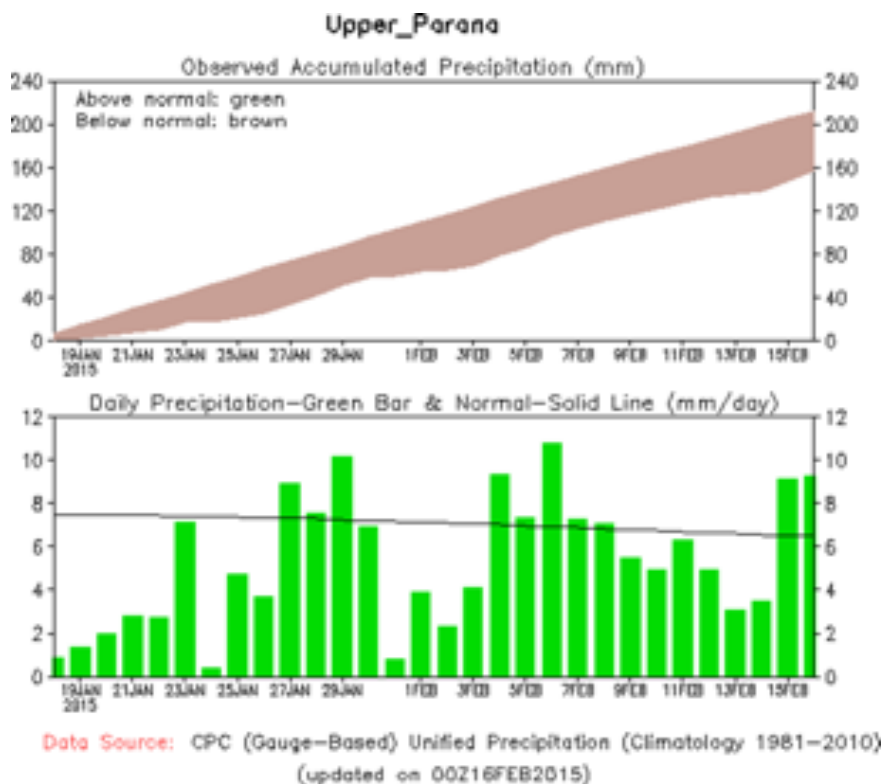
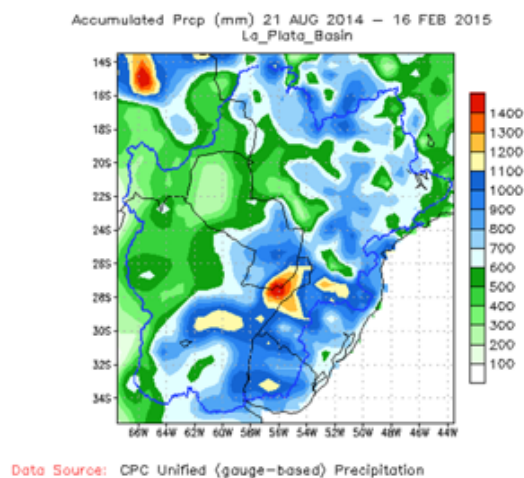


Figura 2.2.3.10

Lluvia total acumulada en 180 días en la Cuenca del Plata en base a datos pluviométricos del CPC (NOAA)



2.2.4 Paraguay

Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC)

La Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) dependiente de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC) es la encargada de la emisión de alertas de origen meteorológico, particularmente aquellas relacionadas con las producidas por tormentas severas que producen situaciones riesgosas por lluvias intensas, fuertes vientos y caída de granizo. Una comunicación directa con la Secretaría de Emergencia Nacional (SEN) permite activar un sistema de alerta a nivel nacional. La difusión de esta alerta se realiza a través de su sitio web www.meteorologia.gov.py/.

La DMH cuenta con una red de estaciones meteorológicas convencionales y automáticas, un sistema de captura de imágenes de satélites meteorológicos y un radar meteorológico. Además, acaba de reanudar, en

2014, las observaciones de radiosondeo en Asunción y se encuentra implementando el Sistema LEAS (*Leading Environmental Analysis and Display System*), que facilita el despliegue de datos e imágenes de sistemas de observación automáticos, radares y satélites.

Entre los desafíos y proyectos a corto plazo se encuentran la modernización de la red nacional de vigilancia de la atmósfera por medio de la implementación de estaciones meteorológicas e hidrológicas automáticas con transmisión satelital y GPRS, la implementación de un nuevo radar meteorológico en el este de la región oriental, la implementación de un sistema de radiosonda en Mariscal Estigarribia, la implementación de los servicios climáticos y la incorporación de recursos humanos calificados.

Representa un desafío, para la DMH, el fortalecimiento de la hidrología operativa en Paraguay, ya que en la actualidad presenta debilidades tales como una red hidrométrica de baja densidad y heterogéneamente distribuida, además de una dramática carencia de mediciones de caudal y, tal como lo indican diferentes informes de Recursos Hídricos de 2004, 2006 y 2013, tampoco existe una buena coordinación de las actividades en el campo de la hidrología operativa, las cuales son actualmente sectoriales. En consecuencia, para el fortalecimiento del sector se plantea avanzar en el conocimiento y el pronóstico de inundaciones y sequías, el estudio de la disponibilidad y la calidad del agua en cuencas y ríos para los distintos usos: energía, agricultura, subsistencia, turismo (balances hídricos), la administración de operaciones de dragado para navegación, y la participación del país en los programas regionales e internacionales sobre la protección del ambiente y del cambio climático.

En forma operativa se procesan los datos diarios de nivel del río Paraguay y se pre-

sentan de varias maneras (Figura 2.2.4.1) y, en forma conjunta con la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP) (Figura 2.2.4.3).

Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP)

En Paraguay, las observaciones hidrológicas, particularmente de altura hidrométrica diaria, son realizadas por la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP) en coordinación con la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Armada Paraguaya. De esta manera, se dispone de varios puntos de observación en el río Paraguay en el tramo paraguayo y en el tramo fronterizo (Figura 2.2.4.2), estas observaciones son permanentemente comparadas con el comportamiento medio y con los extremos observados en el pasado y son una herramienta muy útil para la emisión de alertas hidrológicas. También se coordinan actividades con la DINAC para la emisión de alertas hidroclimáticas en forma conjunta.

Un caso particular acontece en momentos de inundaciones del río Paraguay, que afectan a varias ciudades ribereñas, que precisan de un monitoreo permanente acerca de la evolución del fenómeno El Niño, cuando este es normalmente asociado a extremos de precipitación estacional. El sitio donde pueden observarse estos informes es www.annp.gov.py.

La ANNP, conjuntamente con la DINAC, lleva adelante un análisis hidroclimático del río Paraguay en situaciones de fases definidas del *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO).

La Dirección de Meteorología e Hidrología de la DINAC dispone, en su portal, del comportamiento diario del río Paraguay comparado con situaciones extremas de inundaciones y estiajes.

Figura 2.2.4.1

Comportamiento diario del Río Paraguay en Asunción

Fuente: DINAC, 2015

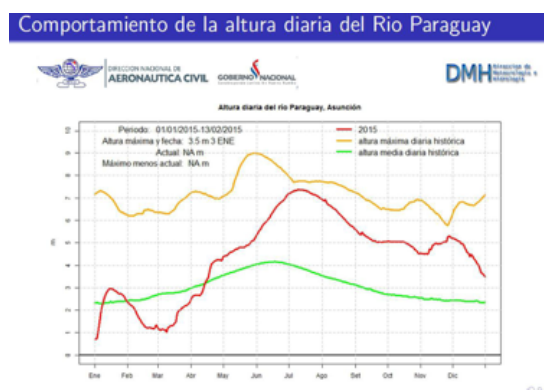


Figura 2.2.4.2

Altura hidrométrica diaria del Río Paraguay en Concepción, Paraguay

Fuente: ANNP

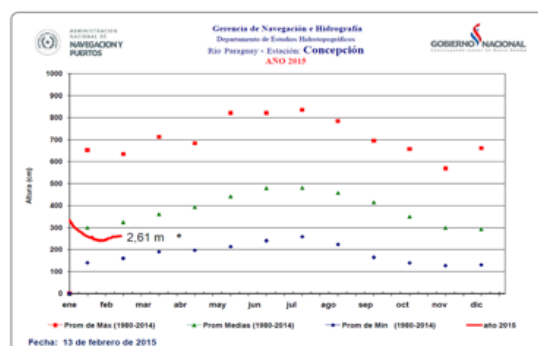
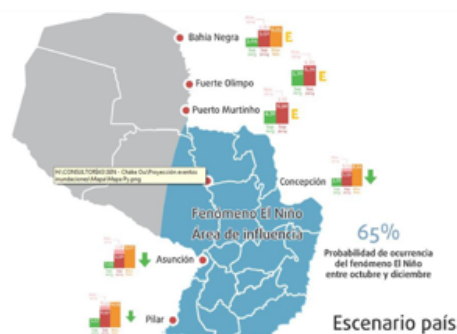


Figura 2.2.4.3

Boletín de Perspectiva Climática e Hidrológica, septiembre de 2014

Fuente: ANNP-DINAC



2.2.5 Uruguay

Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET)

Los servicios climáticos en Uruguay son diversos. A modo de ejemplo, se observa lo elaborado por el INUMET con el objetivo de mostrar los valores mensuales de precipitación acumulada y su anomalía correspondiente (**Figura 2.2.5.1**), utilizando todos los pluviómetros que constituyen la Red Pluviométrica Nacional. Abajo se muestra una estadística de eventos extremos de precipitación disponible por localidad (**Figura 2.2.5.2**). Estos productos climáticos están disponibles en www.meteorologia.com.uy/ServCli/mapasPrecipH.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)

El INIA también realiza análisis pluviométrico con fines agrícolas. La **Figura 34** representa la precipitación estacional y su correspondiente anomalía, utilizando como base de datos 75 estaciones meteorológicas del Instituto Uruguayo de Meteorología y cinco estaciones de INIA.

El INIA difunde un balance hídrico de suelos calculado en la precipitación, cálculos de evapotranspiración y el estado de humedad del suelo. De esta manera, obtiene como salida un índice de bienestar hídrico para 10 días y mensual, con datos de 84 estaciones meteorológicas (**Figura 2.2.5.4**). Estos datos están disponibles en www.inia.uy.

Universidad de la República (UdelaR), Dirección Nacional de Agua (DINAGUA) y Sistema Nacional de Emergencia (SINAE)

Sistema de Alerta Temprana de Inundación en Durazno

Este Sistema de Alerta Temprana (SAT) se basa en un modelo hidrológico hidrodinámico

en un área de 8 750 km² y TC=54 h utilizando como entrada datos de precipitación en tiempo real y pronósticos de precipitación y viento, así como datos de topografía, suelos, geología y usos del suelo.

Los resultados del modelo proporcionan el nivel de alerta de inundación de la ciudad de Durazno en la escala de alto, medio y bajo, con gráficos de 20 días (10 pasados y 10 futuros) de niveles diarios del río Yí frente a Durazno (Puente Viejo y Puente Nuevo), (**Figura 2.2.5.5**).

La XII Reunión del Grupo de Trabajo sobre Hidrología y Recursos Hídricos de la AR-III (Asociación Regional III), realizada en Uruguay en marzo de 2014, concluyó con el apoyo a la propuesta de ese país para extender el actual Sistema de Alerta Temprana (SAT) de previsión de niveles del río Yí para gestión de inundaciones en la ciudad de Durazno, a la ciudad de Artigas/Quarai, en la cuenca binacional (Uruguay-Brasil) del río Cuareim/Quarai, y a la ciudad de Treinta y Tres, en la cuenca del río Olimar, subcuenca de la cuenca binacional (Uruguay-Brasil) de la laguna Merín.

2.2.6 Foros climáticos regionales

Los pronósticos climáticos estacionales han sido uno de los productos más buscados por varios usuarios desde que se han implementado en los países de la Cuenca del Plata. Estos pronósticos empezaron a ser operativos poco antes de la ocurrencia de El Niño, en 1997-98. Desde entonces, se han realizado 37 reuniones internacionales y con el financiamiento de varias organizaciones, entre ellas la OMM, el IRI, las asociaciones de productores rurales y los propios Servicios Meteorológicos de la región, fueron comunes la realización de los «Foros Climáticos para el Sudeste de Sudamérica», habida cuenta de que esta era una zona con alta señal del ENSO.

Figura 2.2.5.1

Precipitación mensual acumulada (izquierda) y anomalía (derecha)

Fuente: INUMET, 2015

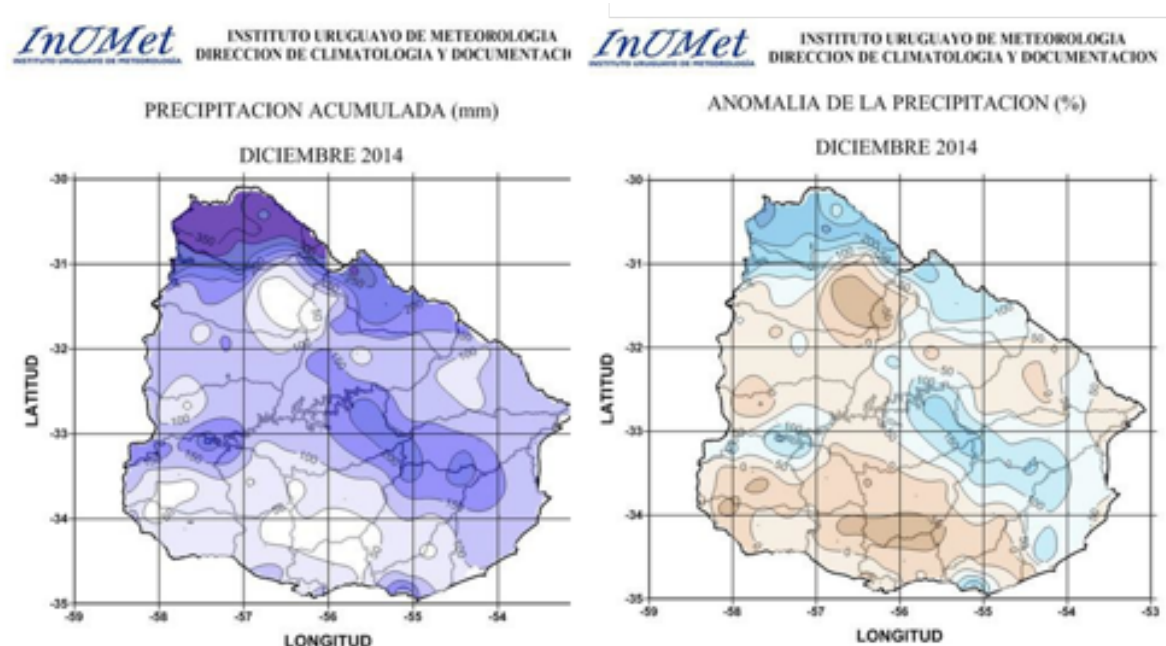


Figura 2.2.5.2

Record estadístico de precipitaciones intensas por localidad

Fuente: INUMET

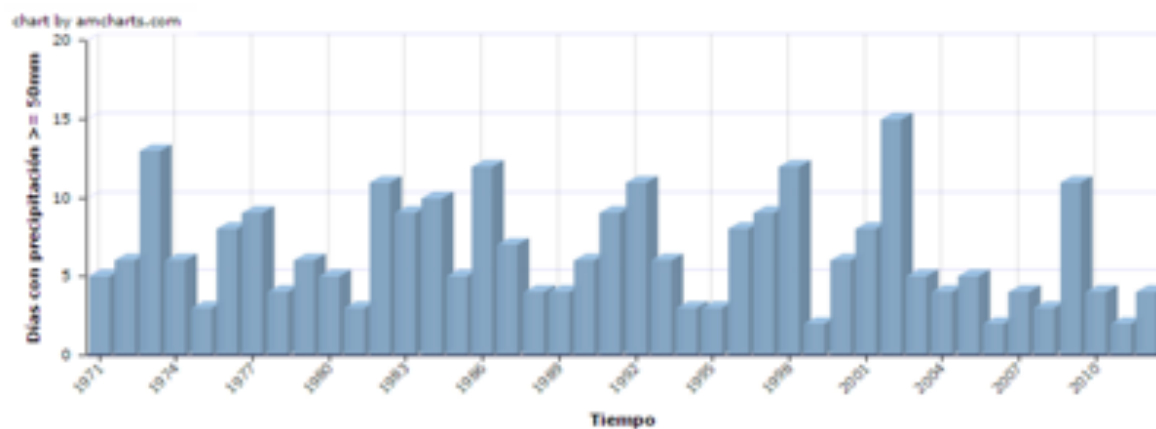
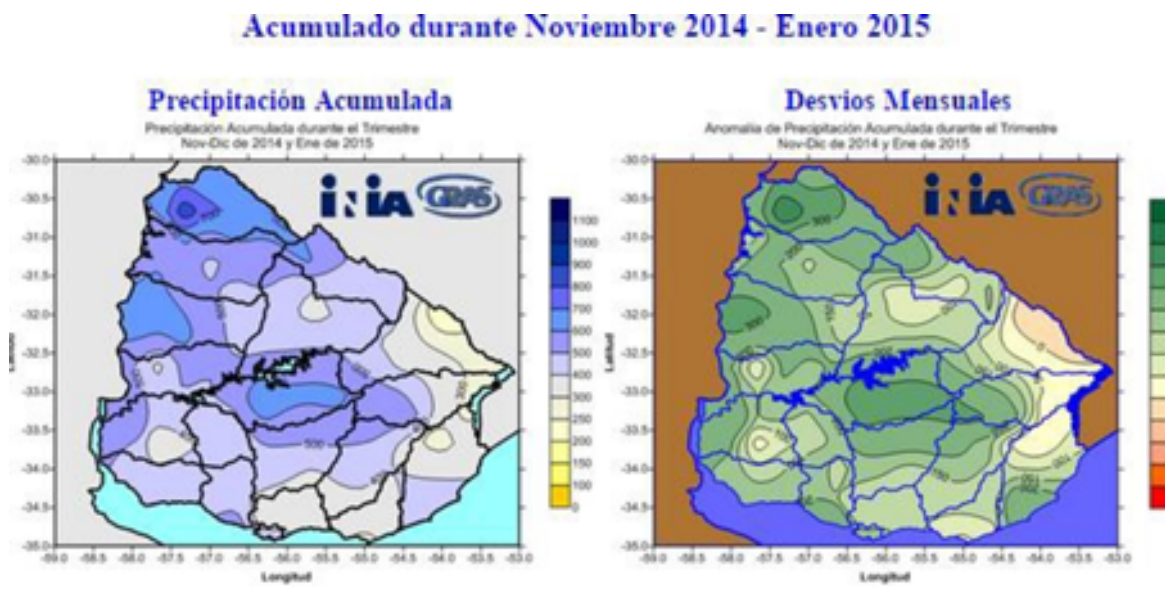


Figura 2.2.5.3

Precipitación Acumulada y Desvíos para un trimestre

Fuente: INIA, 2015



Estos foros se realizaban, en forma consensuada, por los especialistas de las instituciones participantes y seguidamente se presentaban, a los usuarios presentes, discusiones acerca de la posibilidad de impactos en diversos sectores. En su inicio, se realizaban cada tres meses para períodos trimestrales consecutivos, pero dada la gran demanda actualmente se realizan en forma mensual para períodos trimestrales futuros y ya son productos operativos corrientes en los servicios meteorológicos e hidrológicos regionales. En la **Figura 2.2.6.1** se observa una de las conclusiones del XXXVII Foro Climático Regional realizado en Montevideo (Uruguay) y, en la siguiente, los resultados obtenidos y publicados por el SMN de Argentina, por el INMET/CPTEC de Brasil y por la DMH de Paraguay (**Figura 2.2.6.2**). Actualmente estos pronósticos o tendencias climáticas son llevados a cabo por especialistas climatólogos de diversas instituciones en distintos países, en base a análisis de condiciones actuales at-

Figura 2.2.5.4

Índice de bienestar hídrico

Fuente: INIA

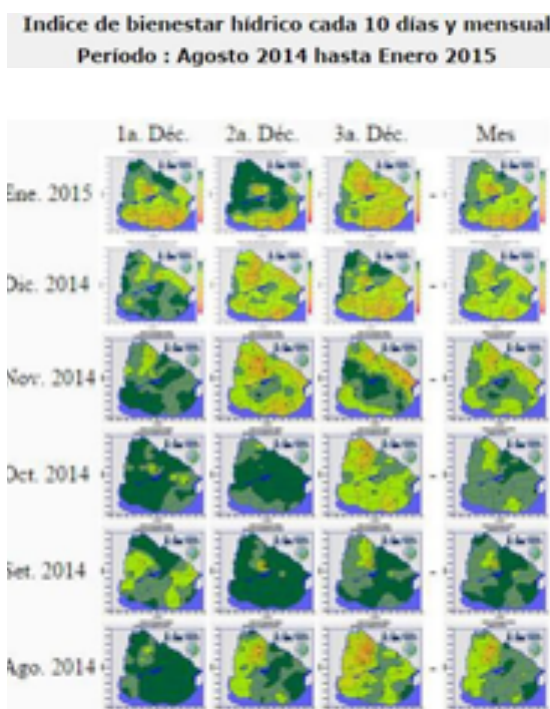
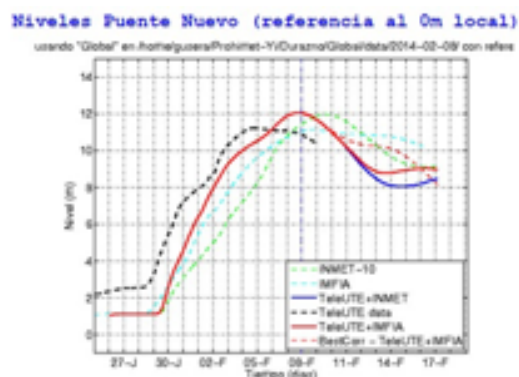


Figura 2.2.5.5

Nivel del río Yí en el Puente Nuevo, Durazno (izquierda) y curvas de inundación sobre foto aérea de la ciudad de Durazno (derecha)

Fuente: Udelar, 2014



Curvas de Inundacion



mosféricas y oceánicas globales y regionales, análisis estadísticos locales y a las salidas de modelos climáticos globales.

En un principio, los resultados de estos foros, referidos fundamentalmente a pronósticos de la temperatura media y a la precipitación acumulada en forma trimestral, se expresaban en términos de probabilidad para sus terciles estadísticos: primer tercil o inferior a la normal, tercil central o normal y tercil superior o superior a la normal. Recientemente se ha observado que existe una mayor discriminación que las anteriores tres categorías (Figura 2.2.6.3).

Los resultados de los Foros de Perspectiva Climática continúan siendo un producto climático muy requerido por el sector de usuarios de la información climática. Se observa que los sectores vinculados a las actividades agrícolas, la energía, el agua, la salud o las emergencias, realizan consultas permanentemente con sus respectivos Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales sobre los resultados más recientes de los foros.

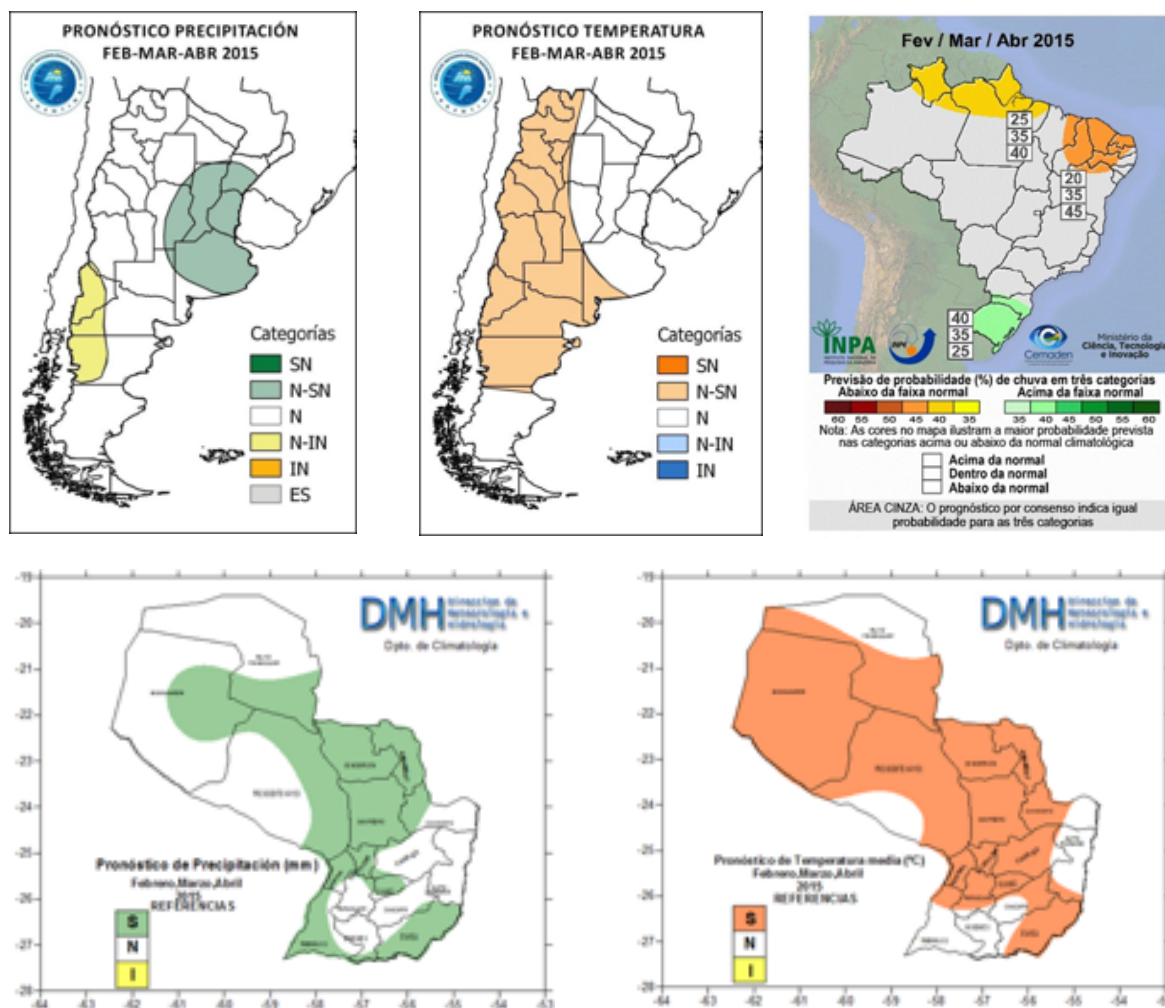
Figura 2.2.6.1

Conclusiones del «XXXVII Foro Climático Regional de Perspectiva Climática para el Sudeste de Sudamérica», 8-9 diciembre 2014, Montevideo, Uruguay



Figura 2.2.6.2

Resultados de Foros Climáticos realizados recientemente en Argentina, Brasil y Paraguay



2.2.7 Centro Regional de Clima para el Sur de América del Sur (CRC-SAS)

El Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur (CRC-SAS) es una organización virtual, constituida en forma de red, según los principios definidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Se encuentra en su fase inicial de implementación y ofrece servicios climáticos en apoyo a los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) y a otros usuarios

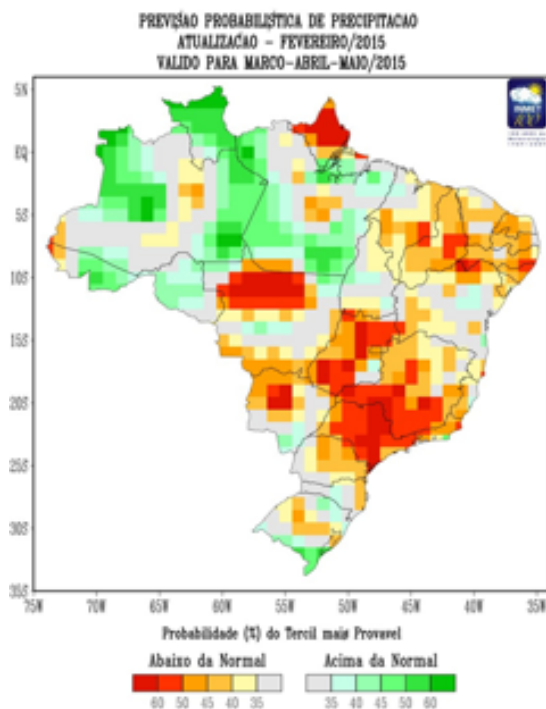
de los países situados en la región sur de América del Sur (Figura 2.2.7.1). Su sitio web es <http://www.crc-sas.org>.

Los Centros Regionales del Clima (CRC) serán centros de excelencia, designados por la CSB (Comisión de Sistemas Básicos) y la CCI (Comisión de Climatología), para cumplir funciones a escala regional, entre las cuales se destacan: servicios operacionales de datos, actividades operacionales de pronóstico a mediano plazo, actividades ope-

Figura 2.2.6.3

Modelo estadístico de predicción climática del INMET, que produce pronósticos estacionales de precipitación total y temperatura media para todo Brasil

Fuente: INMET



racionales de monitoreo climático, entrenamiento en el uso de productos y servicios operacionales del CRC, coordinación entre CRC, CMP y SMHN en la región, aplicaciones climáticas e investigación y desarrollo. Los CRC serán complementarios de y brindarán apoyo a los SMHN, quienes divulgarán todas las alertas y los productos a escala nacional.

Los CRC propuestos en la AR III son tres: CRC-SAS, CRC-OSA y CRC-NAS, para el sur, el oeste y el norte, respectivamente.

El CRC-SAS cuenta con la siguiente organización: países responsables (Argentina y Brasil), países miembros (Paraguay y Uruguay) y países asociados (Bolivia y Chile) e instituciones colaboradoras (el Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos —DCAO—/UBA, CONICET/CENPAT —Centro Nacional Patagónico—, CPTEC, INTA, CONICET/CIMA y SIMEPAR. El Comité Ejecutivo está integrado por directores de los Servicios Meteorológicos y cuenta con los siguientes Grupos de Trabajo: GTP1 (Gestión de datos, desarrollo y producción de productos); GTP2 (Infraestructura de TI, diseño y mantenimiento web); GTP3 (Entrenamiento y desarrollo de capacidades) y GTP4 (Actividades de investigación asociadas, incluyendo mecanismos de interfase con los usuarios).

La página web del CRC-SAS está en fase de demostración. Respecto del diagrama general de la base de datos, existe una serie de tareas que debe ser realizada por cada país miembro del CRC-SAS y tareas a ser realizadas por el CRC-SAS. En lo que respecta a la Red de Estaciones Meteorológicas del CRC-SAS, los países se comprometen a aportar datos de un número de estaciones convencionales definidas y con un récord desde 1961 al presente, totalizando 313 estaciones meteorológicas (Figura 2.2.7.2).

El control de calidad cuenta con un *super-set* de controles en la literatura y usados en la región, implementados en R (software abierto y libre) y se prevén fondos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para entrenar al personal de los SMHN de los países miembros de CRC-SAS.

La Figura 2.2.7.3 muestra uno de los productos climáticos disponibles en el CRC-SAS referidos a temperatura y precipitación en su dominio.

Figura 2.2.7.1

a) Dominio de los CRC en América del Sur, y b) presentación de CRC-SAS

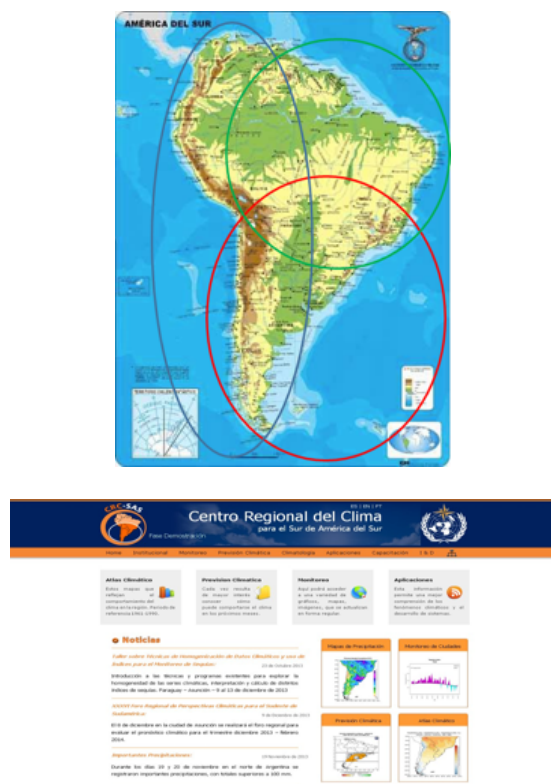


Figura 2.2.7.2

Red de estaciones meteorológicas del CRC-SAS



Tabla 2.2.7.1

Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur (CRC-SAS)

Red de estaciones meteorológicas CRC-SAS

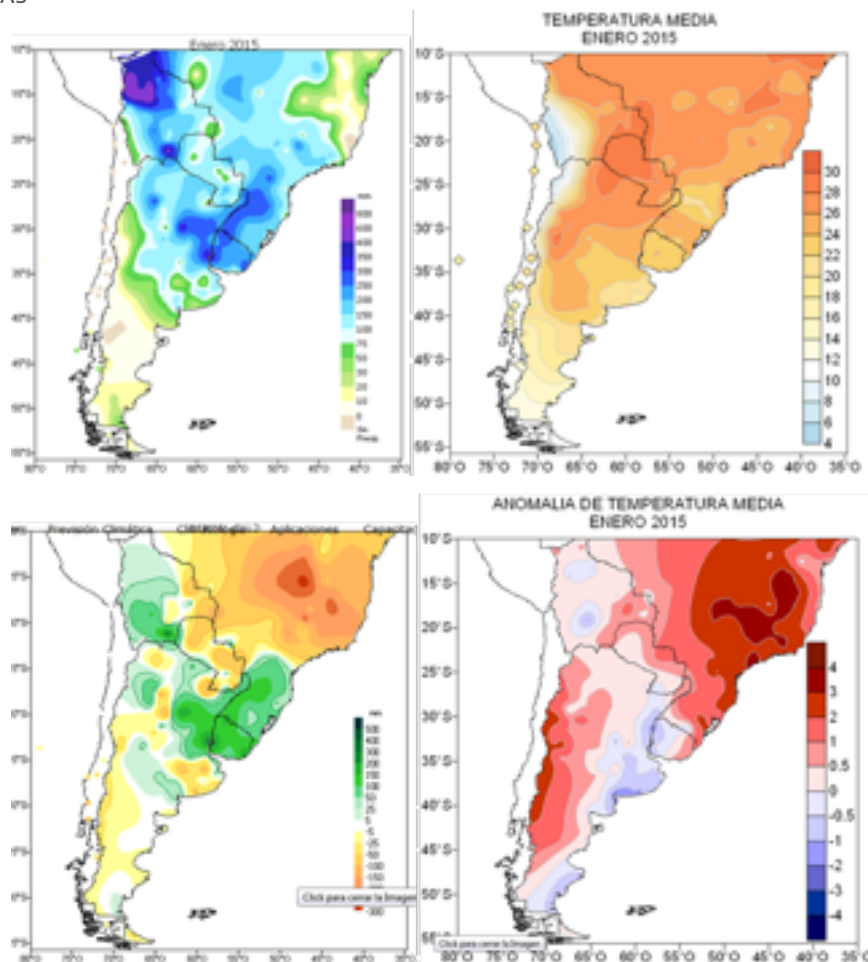
País	Estaciones meteorológicas
Argentina	164 (*)
Bolivia	31
Brasil	83
Paraguay	23
Uruguay	10
Chile	16
Total	313

(*) 124 SMN, 40 INTA.

Figura 2.2.7.3

Precipitación total acumulada (mm) y temperatura media mensual (°C), enero 2015 (arriba) y sus respectivas anomalías (abajo), productos disponibles en el CRC-SAS

Fuente: CRC-SAS



2.2.8 Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC)

Los participantes de la Tercera Conferencia Mundial sobre el Clima, realizada en Ginebra en 2009, decidieron por unanimidad establecer el Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC), una iniciativa de la Naciones Unidas encabezada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), con el fin de orientar la elaboración y aplicación de información y servicios climáticos basados en conocimientos científicos, para apoyar la toma de decisiones en sectores sensi-

bles al clima. Las áreas prioritarias para el MMSC son cuatro: agricultura y seguridad alimentaria, reducción de riesgos de desastres, salud y agua.

Se entiende por servicio climático al suministro de información climática de tal manera que ayude a las personas y a las organizaciones a adoptar decisiones. La prestación de un servicio requiere de un nivel de participación suficiente, así como de un mecanismo de acceso eficaz y debe responder a las necesidades de los usuarios.

La visión del MMSC consiste en permitir a la sociedad una mejor gestión de los riesgos y de las oportunidades que plantean la variabilidad del clima y el cambio climático, y la adaptación al cambio climático, a través del desarrollo y la incorporación de la información y la predicción climática con bases científicas en la planificación, decisión y prácticas a escala global, regional y local.

La estructura del Marco se basa en cinco componentes fundamentales o pilares, necesarios para poder establecer servicios climáticos eficaces (**Figura 2.2.8.1**). Los pilares se emplean para mostrar un modelo conceptual, pero en la práctica se produce una superposición de funciones y responsabilidades que deben coordinarse cuidadosamente.

La plataforma de interfaz de usuario es el pilar del Marco que proporciona a los usuarios (gobierno, sector privado, etcétera), clima-

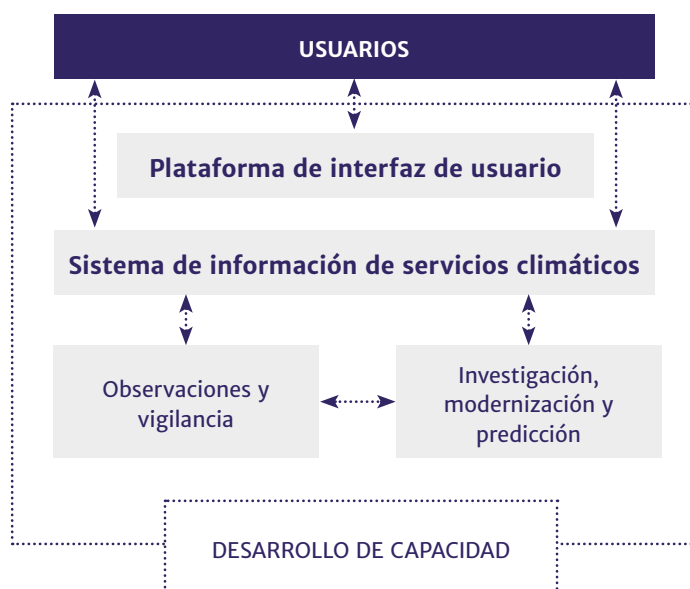
tólogos y proveedores de datos e información climática una estructura para interactuar en todos los niveles.

Al nivel regional será posible establecer sinergias para el desarrollo y la creación de capacidades que posiblemente no estén al alcance de los recursos individuales de algunos países. En la Cuenca del Plata, el CRC-SAS podría ayudar al fortalecimiento de capacidades de colaboración regional y subregional, a detectar las necesidades de los usuarios, a identificar unidades de investigación y generación de productos que colaboren en las actividades y a brindar apoyo a los proyectos en ejecución. La prestación de servicios climáticos se lleva a cabo a nivel nacional y subnacional/local como así también a nivel supranacional, en este sentido, quizás sea necesario reforzar la capacidad de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales y de otros

Figura 2.2.8.1

Ilustración esquemática de los cinco pilares del Marco y sus vínculos con las diversas comunidades de usuarios

Fuente: OMM, 2014



organismos que puedan colaborar en el establecimiento de estos servicios, aprovechando al máximo las capacidades existentes y evitando duplicidades.

2.2.9 Predicción numérica

Con fines hidrológicos, la estimación de precipitación que pudiera ocurrir a corto o mediano plazo puede ser de interés. En este sentido, la salidas de los modelos de predicción numérica del tiempo podrían ser muy útiles, más aun en situaciones particulares extremas de inundaciones o sequías. Son varios los organismos en la Cuenca del Plata que cuentan con modelos operacionales, por ejemplo:

El Instituto Nacional de Meteorología (INMET) de Brasil

El INMET corre modelos alta de resolución como el MBAR 10 km, el COSMO 2,8 km y el COSMO 7 km (Figura 2.2.9.1).

El Centro de Previsión de Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC) de Brasil

Este centro corre varios modelos meteorológicos en forma operativa, entre ellos, el BRAMS 5 km, el ETA 15 km y el ETA Ensemble 40 km (Figura 2.2.9.2).

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

El SMN corre el modelo ETA 40 km.

El proyecto establece considerar la relación de las problemáticas identificadas en el ADT con los efectos de la variabilidad y del cambio climático. Para ello, se establecen escenarios de variabilidad climática (situación actual y tendencia inmediata) y se consideran los escenarios de cambio climático asociados al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).

Figura 2.2.9.1

Salida del modelo regional COSMO 7 km

Fuente: INMET

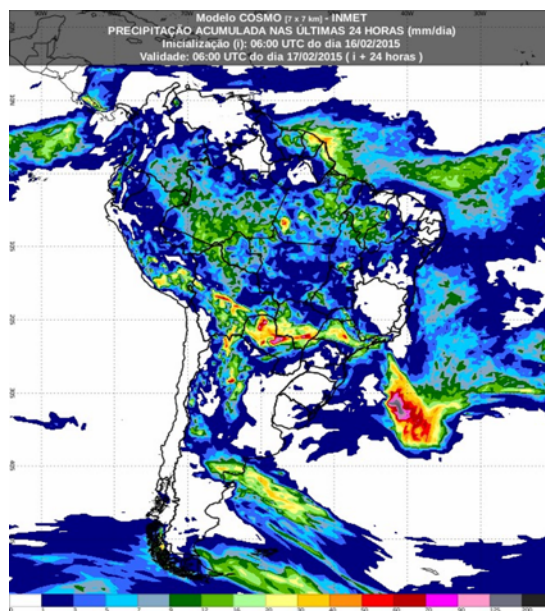


Figura 2.2.9.2

Salida del modelo regional Eta (11 d) 15X15 km, CPTEC Análisis inicializado en: 16/02/2015-00 UTC (Tiempo Universal Coordinado), válido para: 17/02/2015-00 UTC, variable: precipitación acumulada en 24 h (mm/d)

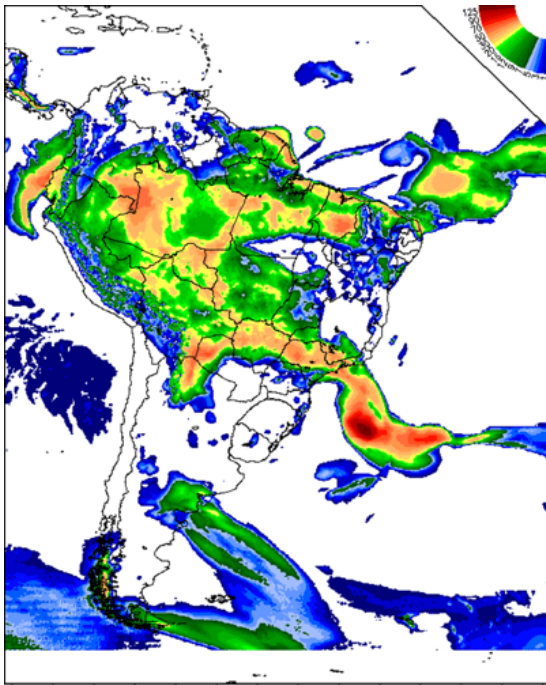
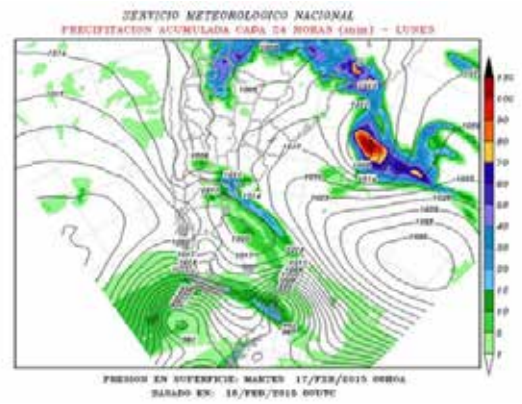


Figura 2.2.9.3

Salida del modelo regional ETA 40 km

Fuente: SMN, 2015



Capítulo 3:

Variabilidad y cambio climático

3.1 Variabilidad climática

La parte tropical y subtropical de América del Sur está caracterizada por el Monzón Sudamericano, sistema de circulación atmosférica estacional en América del Sur y Océanos adyacentes, condicionado por la radiación solar estacional, que tiene una marcada influencia en el régimen hidroclicmático de la Cuenca del Plata, siendo una de sus características principales el bien definido ciclo anual de la precipitación en la mayor parte de la Cuenca del Plata, con máximos en verano y mínimos en invierno.

No obstante, esta estacionalidad es más acentuada en la subcuenca del Paraguay y en la subcuenca del Paraná, atenuándose un poco en la subcuenca del Uruguay y en la subcuenca del río de la Plata mismo (**Figura 3.1.1**). La precipitación total anual es muy variable en la Cuenca del Plata, aumentando de oeste a este, con mayor precipitación en las subcuencas del alto Paraná y el Uruguay, con núcleos que sobrepasan los 2 500 mm, mientras que la zona más seca es la parte del gran chaco americano que pertenece a la Cuenca del Plata con núcleos inferiores a 600 mm.

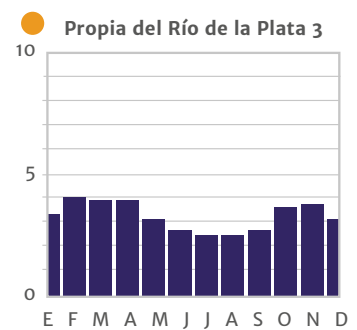
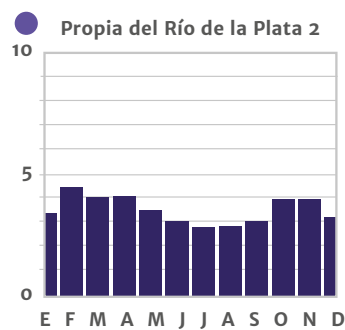
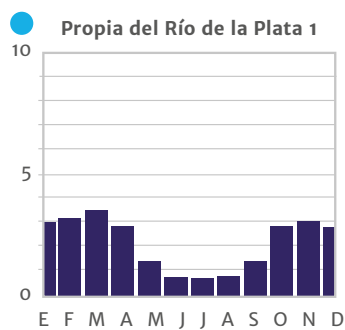
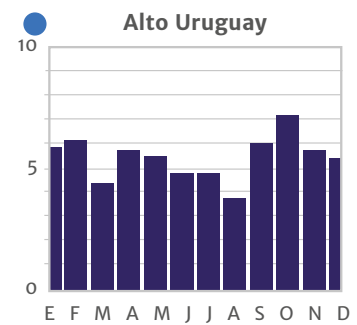
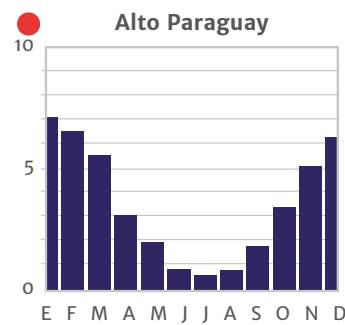
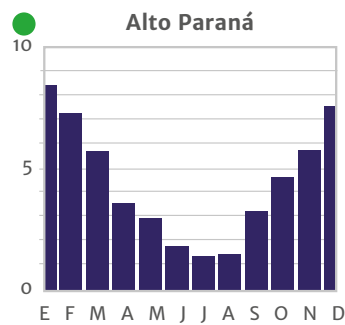
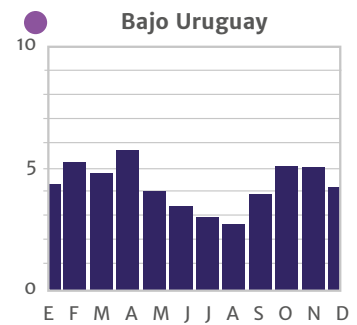
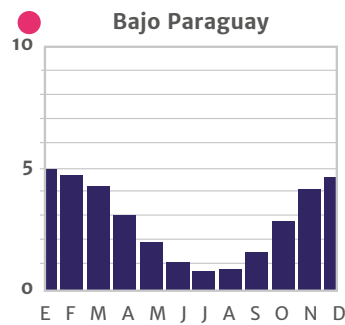
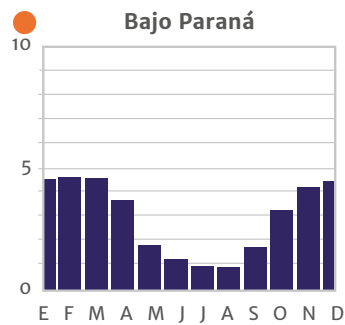
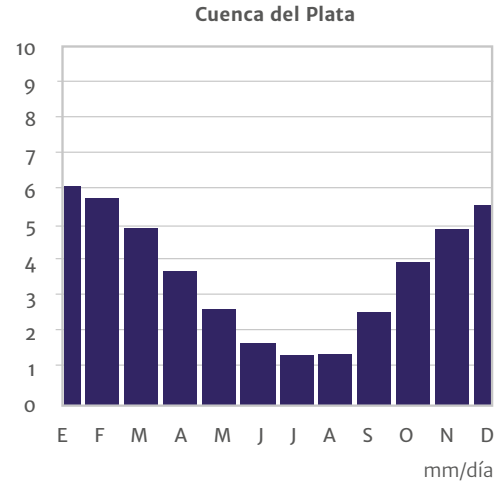
Durante la primavera y el verano austral, se observan sistemas dominantes que conectan el Amazonas con el sudeste de Sudamérica. En primer lugar, la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS), una banda nubosa convectiva que va desde el sur del Amazonas hasta el sudeste del Brasil y el *Jet* de Bajo Nivel de Sudamérica (SALLJ, en su sigla en inglés). Estos sistemas actúan produciendo lluvias. Durante la primavera y el verano austral, el principal fenómeno regional que transporta humedad desde el Amazonas a la Cuenca del Plata es el SALLJ, canalizado por los Andes en su lado oriental (Marengo et al., 2004; Rodríguez y Cavalcanti, 2006; Zamboni et al., 2010).

El origen de este *Jet* está asociado a los vientos alisios que soplan desde el océano Atlántico Tropical, cargados de humedad, que invaden el Amazonas depositando allí la humedad, que es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración, y desde allí, es transportada hacia el sur por el SALLJ. Este se localiza en la capa más baja de la atmósfera y se extiende hasta una altitud de tres kilómetros. Viaja con una velocidad que puede alcanzar 50 km/h, con aire cargado de humedad que al ingresar a la Cuenca del Plata interactúa con otras masas de aire o

Figura 3.1.1

Precipitación climatológica de la Cuenca del Plata (1973-2013)

Fuente: Global Precipitation Climatology Project (GPCP)



frentes fríos que provienen del sur del continente, produciendo frontogénesis o Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) que producen lluvias importantes en la región (Figura 3.1.2).

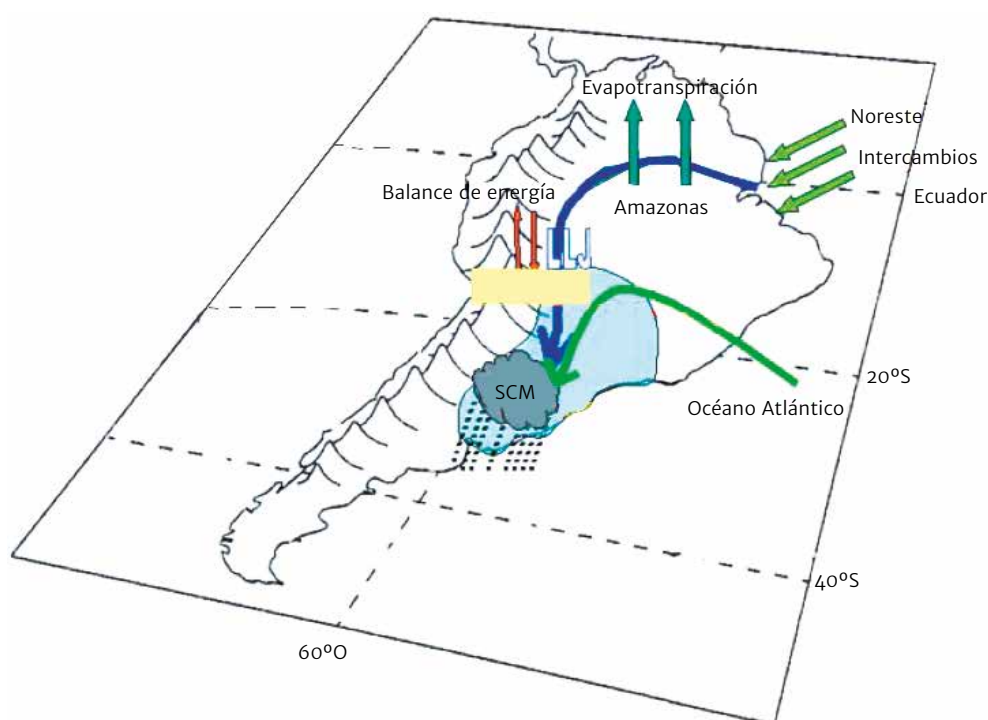
Los aumentos sistemáticos de precipitación y escorrentía desde mediados de los años setenta son consistentes con el aumento de la frecuencia de los eventos SALLJ. Un aumento en la intensidad y la frecuencia del SALLJ aparentemente es corroborado por las observaciones que indican eventos extremos de lluvia en la Cuenca del Plata más frecuentes y en aumento en los últimos 30 años.

El desarrollo de eventos de El Niño y La Niña, fenómenos relacionados con la temperatura superficial del océano Pacífico Tropical, tiene efectos marcados en el clima de gran parte de la Cuenca del Plata, especialmente en la escala de tiempo interanual afectando a la variabilidad de la lluvia. En años El Niño se han observado precipitaciones y escorrentías intensas como en 1982-1983 y 1997-1998. También se han observado precipitaciones intensas durante años Niños neutros, asociados a otros forzantes como situaciones de bloqueo, intensificación de sistemas sinópticos o sistemas de meso escala. En años La Niña se ha observado una tendencia a situaciones de défi-

Figura 3.1.2

Modelo conceptual del Jet de Bajo Nivel al este de los Andes que transporta humedad desde el Amazonas (flecha azul) y desde el Océano Atlántico Subtropical (flecha verde)

Fuente: Marengo et al., 2004^a



cit pluviométrico o sequía. La relación de la precipitación con estos eventos, en la medida que estos pueden ser «pronosticados» en forma temprana, lo transforma en un pronosticador del régimen de lluvia para los meses futuros.

Algunos de los estudios han evidenciado cambios y tendencias significativas en los caudales y en la precipitación en la Cuenca del Plata (Doyle, M. E., Barros, V. R., 2011). Esta tendencia positiva es notada desde la década de 1950 (Figura 3.1.3). La deforestación y los cambios del uso del suelo, como resultado de las actividades humanas en la Cuenca del Plata, aumentaron rápidamente en los últimos 60 años y hay evidencias de que estas acciones antropogénicas modifican las características termodinámicas de la baja atmósfera.

Estos cambios son el resultado de complejas interacciones entre el clima, la hidrología, la vegetación y el manejo de los recursos (agua y suelo). Entre los cambios detectados se encuentran los incrementos en las precipitaciones y en el caudal de los ríos y las modificaciones en la circulación atmosférica de superficie y en las temperaturas extremas que podrían estar vinculadas al cambio climático.

Existen evidencias de que cambios en el uso del suelo pudieron haber contribuido al aumento del caudal medio del río Paraná desde 1970. Estudios asociaron este incremento de caudal después de que grandes áreas hayan experimentado cambios en el uso del suelo (Tucci y Clarke, 1998).

Si por un lado la Cuenca del Plata ha experimentado eventos extremos de precipitación cada vez con mayor frecuencia e intensidad (Groisman et al., 2005; Haylock et al., 2006; Teixeira, 2004), por otro lado, se ha observado, en el centro y el norte de la cuenca, una tendencia a un atraso del inicio de la primavera austral o un aumento en la extensión de la estación seca. Se resalta que, a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, los meses secos aumentaron en torno a uno a dos meses, tal como refleja el diagrama de Hovmöller sobre un área en la parte norte de la cuenca (Figura 3.1.4). Recientemente se demostró que desde 1979 se ha observado un aumento de la estación seca en el sur del Amazonas.

Figura 3.1.3

Caudales medios anuales del río Paraná en Corrientes (1904-2013) y del río Uruguay en Paso de los Libres (1909-2013)

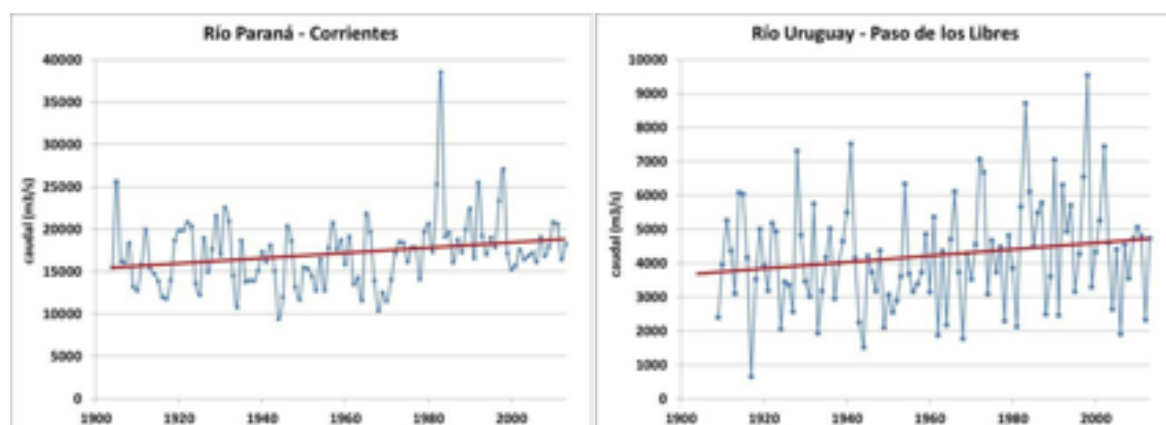
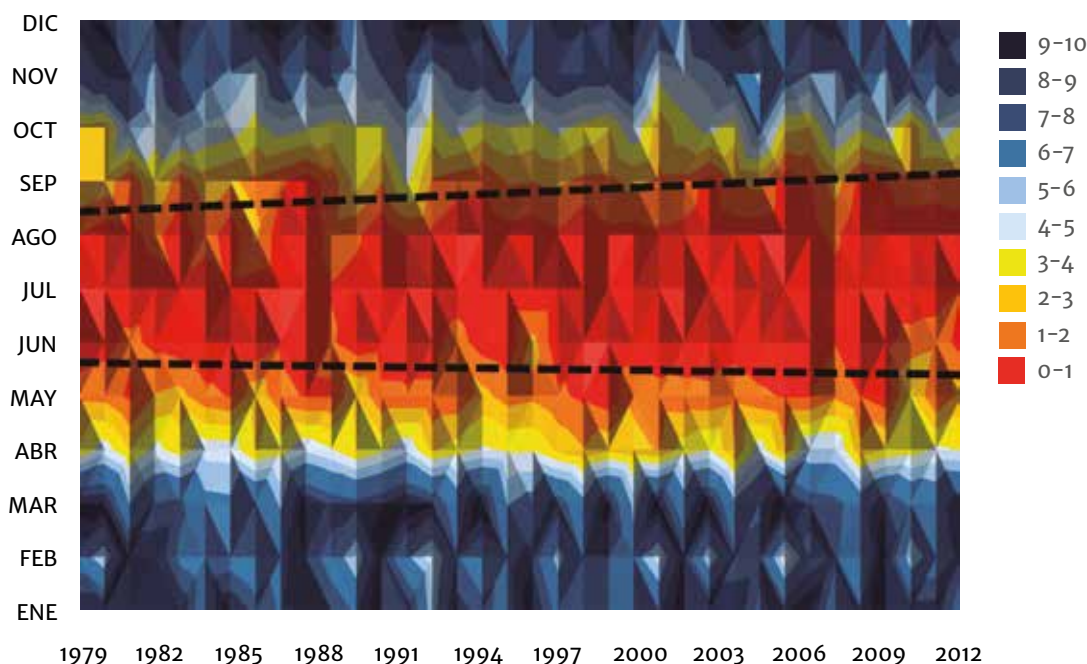


Figura 3.1.4

Diagrama de Hovmöller de precipitación (mm/d) sobre un área al norte de la Cuenca del Plata

Fuente: *Global Precipitation Climatology Project (GPCP)*.



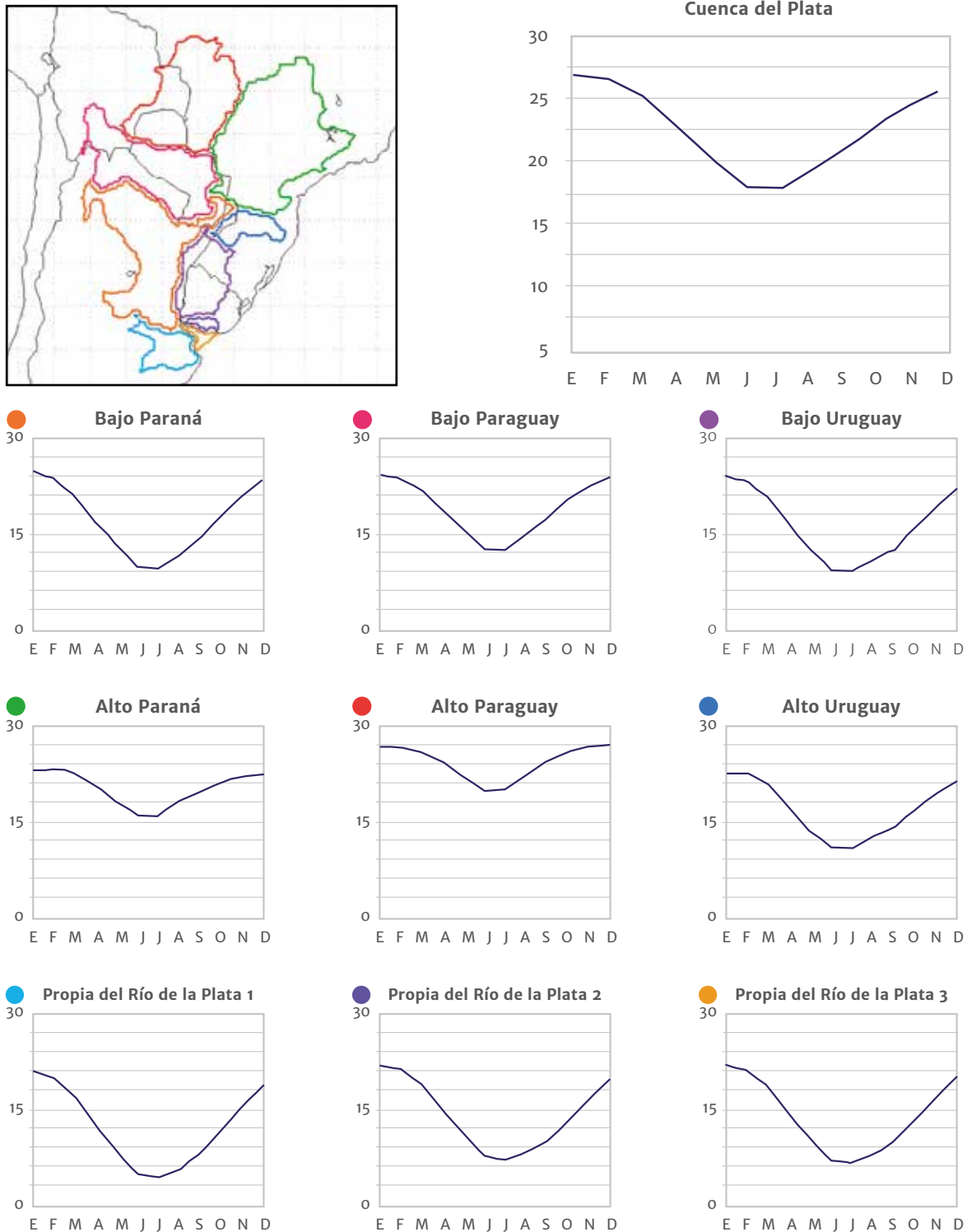
Entre el otoño y la primavera, la incursión de ciclones extratropicales es frecuente en la Cuenca del Plata. Frentes fríos, procedentes del sur del continente y mares adyacentes, incursionan transportando masas de aire frío que invaden dicha cuenca. Estos sistemas meteorológicos son responsables de gran parte de la precipitación que acontece en la estación invernal en la parte oriental de la Cuenca del Plata, en la subcuenca del Paraná medio, en la subcuenca del Uruguay y en la subcuenca del río de la Plata (Andrade, 2005), y actúan coincidiendo con la reducción de la precipitación en la subcuenca del Paraguay.

Estos sistemas meteorológicos de latitudes medias transportan estas masas de aire con temperaturas bajas y poco contenido de humedad, producen un marcado descenso de la temperatura sobre la Cuenca del Plata, ocasionado heladas en la parte central y sur de esta entre los meses de junio y julio. Esta característica climática invernal se observa en el ciclo anual de la marcha de la temperatura del aire (Figura 3.1.5). Obsérvese la característica típica de una onda simple con marcada amplitud térmica anual, con la subcuenca del Alto Paraguay y la subcuenca del Alto Paraná como las más calientes en comparación con la subcuenca del río de la Plata como la más fría.

Figura 3.1.5

Temperatura media climatológica de la Cuenca del Plata y de sus respectivas subcuencas, período 1961-1990

Fuente: Climatic Research Unit (CRU).



3.2 Cambio climático

El año 2014 fue el más caliente desde que se tienen mediciones de temperaturas. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la temperatura media global del planeta quedó 0,57 °C por encima de la media de 1961-1990. En la Cuenca del Plata se observó una anomalía mayor a la media, de entre 1°C y 2°C (Figura 3.2.1), llamando la atención de que estas temperaturas elevadas se registraran en ausencia de El Niño plenamente desarrollado. También se resalta el hecho de que en los últimos tres años tampoco se han registrado eventos El Niño.

Esta anomalía observada en 2014 no resulta ser un hecho aislado. Desde hace décadas, las observaciones meteorológicas en

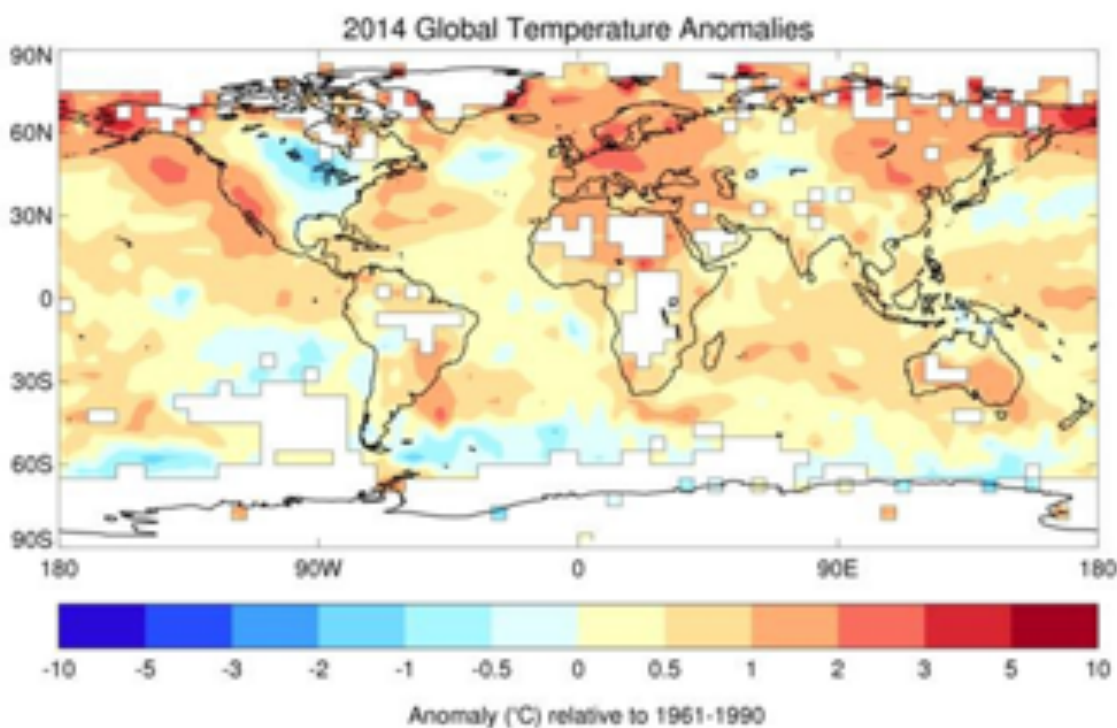
la Cuenca del Plata muestran un aumento constante de la temperatura del aire en muchas localidades. Así, la Figura 3.2.2 muestra la marcha decadal de la temperatura del aire en el Observatorio Meteorológico de Asunción, donde se advierte un calentamiento más acelerado en la última década del siglo XX y en la primera del siglo XXI en relación con décadas anteriores.

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), en su último informe, menciona que la temperatura media de la atmósfera había aumentado en 0,85°C en el siglo XX y en los primeros años del siglo XXI (Figura 3.2.2). Los modelos globales del IPCC han mostrado que entre 1900 y 2100 la temperatura global podría aumentar entre 1,8°C y 5,3°C, lo que representa un calenta-

Figura 3.2.1

Anomalía de la temperatura global media en 2014. Se destaca el desvío entre +1°C a +2°C en la Cuenca del Plata

Fuente: WMO



miento mucho más rápido que el detectado en el siglo XX, y que aparentemente no tiene antecedentes, por lo menos, en los últimos 10 000 años.

Las herramientas comúnmente utilizadas para evaluar el estado actual y las proyecciones climáticas son los modelos del clima, que pueden ser tanto los Modelos Globales Atmosféricos (GCM) o los Modelos Globales Acoplados Océano-Atmósfera (AOGCM). No obstante, la resolución horizontal atmosférica utilizada por estos modelos es muchas veces insuficiente para describir el clima regional, que puede estar afectado por fenómenos que ocurren en una escala menor. Por ello la técnica de «regionalización» puede ser útil para mejorar la información de los modelos globales. La «reducción de escala» utilizando modelos climáticos regionales (*Regional Climatic Models* —RCM—) es una forma de generar escenarios de cambio climático en alta resolución. No obstante, en cada región debe evaluarse si su uso agrega valor a la información provista por los AO-

GCM previo a su uso en estudios de impactos climáticos y adaptación al cambio climático.

Es importante resaltar que existen fuentes de incertidumbre en la modelización del clima como, por ejemplo:

- Incertezas en las emisiones futuras de los gases de efecto invernadero (GEI) y los aerosoles, la actividad volcánica y solar que afectan el forzamiento radiativo del sistema climático.
- Incertezas sobre los efectos directos del aumento de la concentración de los GEI en las plantas, y de estas en el clima futuro.
- Incertezas en la sensibilidad de los modelos frente a los patrones regionales.
- Variabilidad natural del clima.
- Conocimiento incompleto de los procesos físicos importantes en el clima y su parameterización.

Figura 3.2.2

Temperatura del aire media decadal (°C) en Asunción, Paraguay

Fuente: UNA (Universidad Nacional de Asunción-DMH)

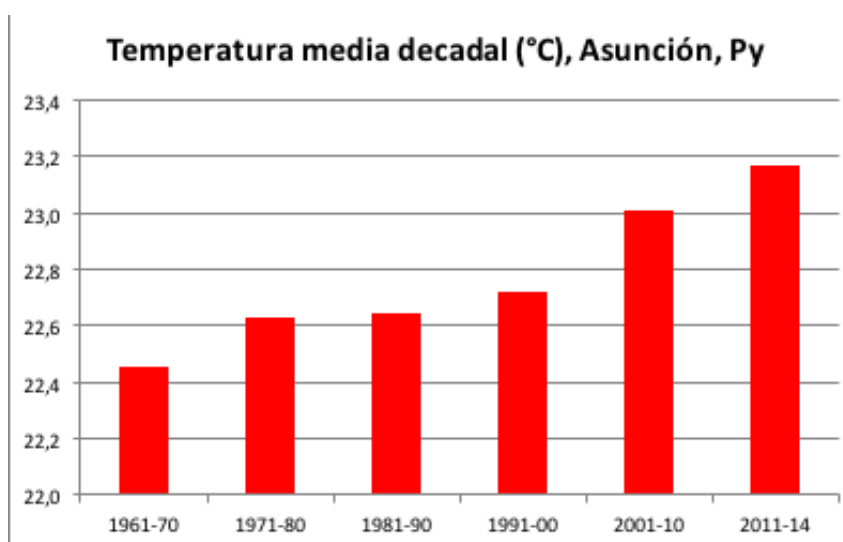
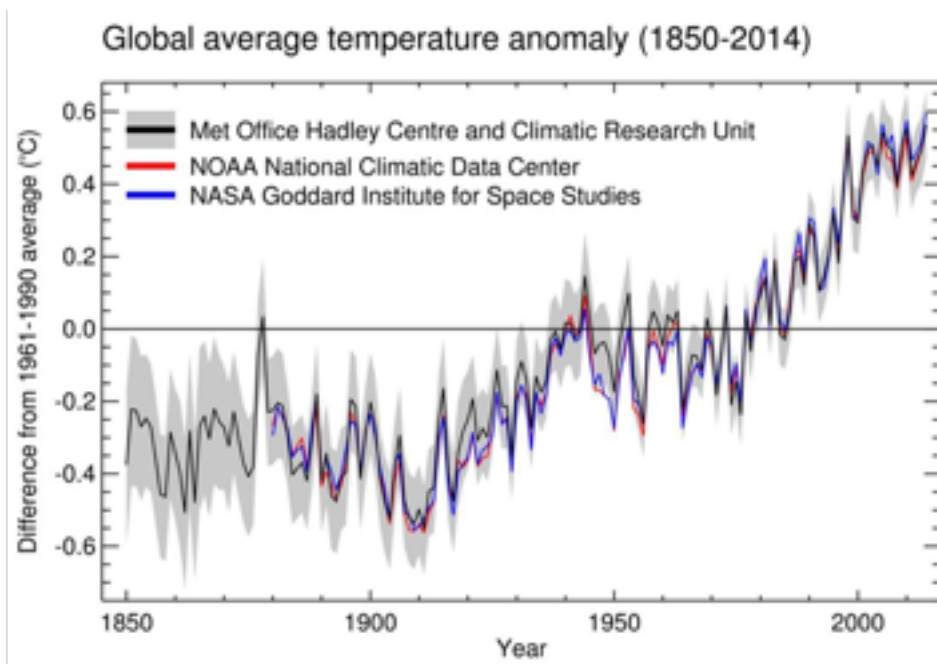


Figura 3.2.3

Anomalía de la temperatura media global (1850-2014)

Fuente: WMO



Por lo tanto, la respuesta de un modelo raramente captura una amplia gama de incertezas en las proyecciones del clima. Una inadecuada elección de los escenarios puede comprometer la interpretación de los resultados de estudios de impacto.

Con estas consideraciones, los modelos de clima proyectan para el futuro, todavía con grados de incerteza, posibles cambios en extremos climáticos. El conocimiento de la variabilidad observada en el clima, en las escalas de tiempo más extensas posibles, sirve de base para analizar el clima futuro, intentando así separar la variabilidad natural observada de aquella que es derivada de la acción antrópogénica.

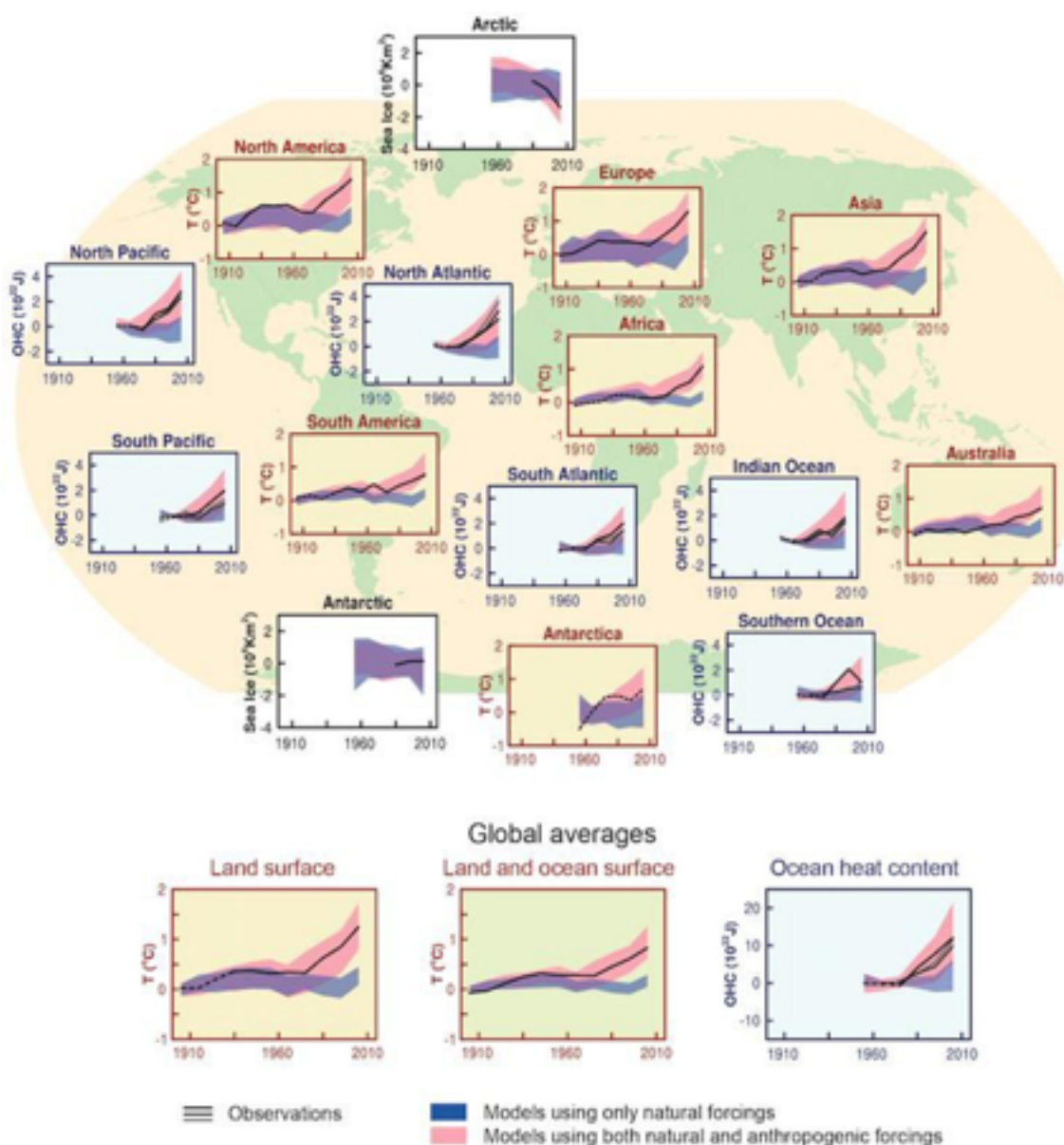
Desde los inicios de la revolución industrial, por los años 1750, la concentración

de los gases de efecto invernadero aumentó casi el 70% y más de la mitad de ese aumento ocurrió en los últimos sesenta años. La identificación de la influencia humana en el cambio del clima es uno de los principales aspectos analizados por el IPCC. Las pruebas basadas en principios físicos indican que la acción natural, o sea, reconstrucciones del forzamiento solar y volcánico de los últimos 300 años, no pueden aisladamente explicar el cambio observado en el clima, tanto de la temperatura de los continentes y océanos, ni del comportamiento de la extensión del hielo marino (Figura 3.1.8). Se concluye que existen fuertes indicios de que la acción antropogénica esté modulando las transformaciones observadas y de que las consecuencias serían sentidas en este siglo.

Figura 3.2.4

Comparación de cambio climático simulado en base a tres indicadores de gran escala: la alteración de la temperatura del aire en los continentes (amarillo), la extensión de hielo marino en los polos (blanco) y el contenido de calor en los océanos (azul). Las anomalías de la temperatura de superficie, la extensión del hielo marino y el contenido de calor en los océanos son relativas a 1880-1919, 1979-1999 y 1960-1980 respectivamente. Resultados obtenidos a partir del ensemble de varios modelos, con intervalos de confianza entre 5 a 95%

Fuente: *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)*



3.2.1 Escenarios de cambio climático

Para la región de la Cuenca del Plata, el CP-TEC ha realizado simulaciones con el modelo climático regional ETA, con resoluciones de 10 km y 20 km, forzado con el modelo HadGEM2-ES del IPCC AR5, para el escenario RCP 4.5 (moderado), para el período 1960–2100, con el objetivo de evaluar situaciones de posibles cambios climáticos.

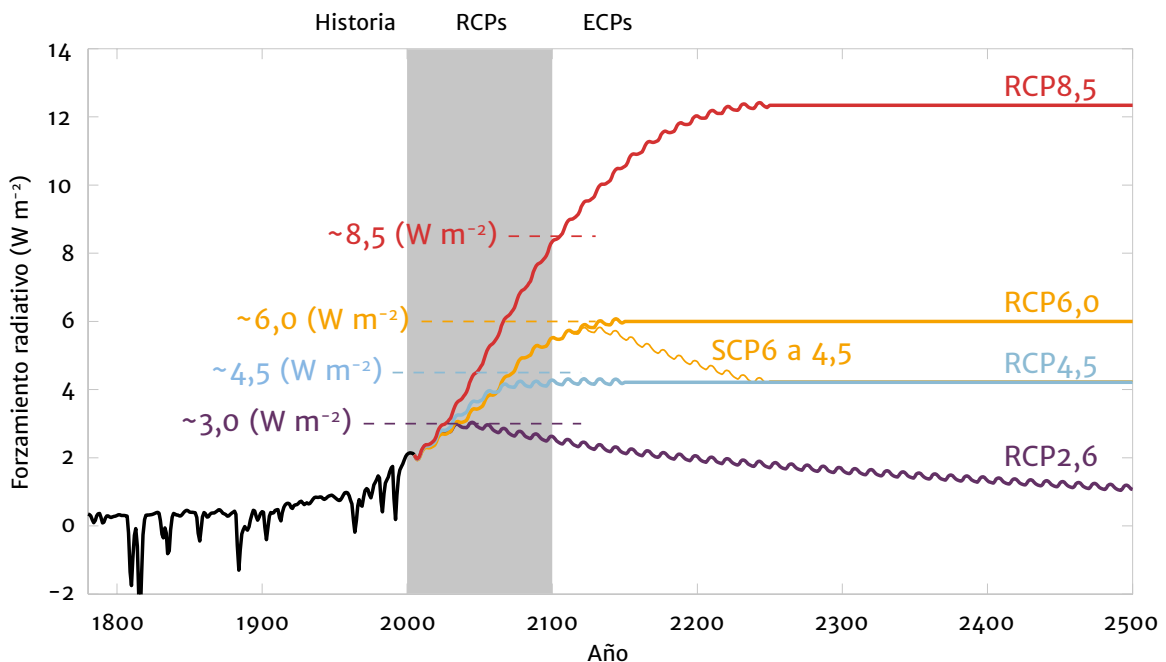
El CPTEC ha presentado dos informes, el primero con la simulación del ETA 20 km y

el segundo con la simulación realizada por el ETA 10 km (Mourao, 2014). En este informe se presentan los resultados de la segunda simulación. Para tal efecto, el modelo climático regional ETA con resolución de 10 km fue integrado con las condiciones iniciales y de contorno del modelo ETA 20 km, que utilizó las condiciones de borde del modelo global HadGEM2-ES. Quedaría pendiente la realización de un estudio acerca de cuál es el valor agregado de las corridas con el RCM frente a las salidas del HadGEM2-ES para temperatura de superficie y lluvias.

Figura 3.2.1.1

RF total (antropogénico más natural) para RCP y ECP (Extended Concentration Pathways), para RCP2.6, RCP4.5, RCP6 y RCP8.5, así como una extensión complementaria de RCP6 a RCP4.5 con un ajuste de emisiones después del 2100 para alcanzar el nivel de concentración de RCP4.5 en el 2250. Las variaciones de corto plazo de RF son debido a forzantes volcánicas del pasado (1800–2000) y al ciclo solar, asumiendo un ciclo solar constante de 11 años (siguiendo la recomendación de CMIP5), excepto en momentos de estabilización.

Fuente: Cubasch et al., 2013.



Para el escenario emisión de dióxido de carbono se han utilizado los nuevos escenarios *Representative Concentration Pathways* (RCP). Estos escenarios son definidos por el nivel de estabilización que alcanzan en el siglo XXI del valor de la forzante radiativa (RF) de los gases de efecto invernadero. En la **Figura 3.2.1.1** pueden verse los cuatro escenarios RCP. El escenario utilizado en el ETA 10 km fue el RCP4.5 considerado intermedio o moderado.

La metodología utilizada consiste en la integración del modelo ETA para los períodos 1960-1990, 2006-2040, 2040-2070 y 2070-2099. Los períodos analizados fueron 1961-1990, considerado como «clima presente» y 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099, considerados «climas futuros». La escala temporal utilizada fue la estacional (DEF, MAM, JJA y SON). La verificación de las características climatológicas del modelo para el clima presente (1961-1990) fue hecha con la base de datos *Climatic Research Unit* (CRU), mientras que los climas futuros (2011-2099), resultados de la simulación, son comparados con el clima presente.

Debe remarcarse que los estudios realizados han tomado en cuenta los resultados de un solo modelo, el modelo regional ETA, adaptado para simulaciones climáticas por el CPTEC-INPE de Brasil. Ello ha permitido contar con un resultado regional a partir de los escenarios establecidos por el IPCC y trasladarlos a otros indicadores tales como riesgo, caudales, humedad de suelo y erosibilidad. No obstante, este enfoque posee limitaciones, ya que a la luz de las incertidumbres actuales de los modelos climáticos globales (MCG), lo más aconsejable para el manejo de escenarios futuros es emplear un conjunto de modelos, para así considerar luego el «ensamble» de resultados. Esta alternativa, más elaborada, conduciría a conclusiones más representativas conside-

rando el desarrollo actual del conocimiento en materia de MCG.

3.2.2 Síntesis de los resultados del ETA en la Cuenca del Plata

Análisis del clima presente: un indicador importante es que el clima presente (1961-1990) del modelo reproduzca climatológicamente la distribución espacial y temporal de las variables climatológicas y estén de acuerdo con los resultados de las observaciones utilizadas.

Las precipitaciones mensuales del período (1961-1990) para distintas áreas que cubren la Cuenca del Plata son representadas en la **Figura 3.2.2.1**, resultados del modelo y datos CRU. En la **Figura 3.2.2.2**, se observa la misma climatología para el área 1 que corresponde a la parte de la cuenca del alto Paraguay y el alto Paraná, notándose un acompañamiento aceptable del modelo a los datos, aunque con subestimaciones en los meses del verano y sobreestimaciones en los meses del invierno.

Las precipitaciones estacionales en general también fueron reproducidas en la Cuenca del Plata aceptablemente: en el verano con una tendencia a subestimar la precipitación en la zona de la ZCAS (alto Paraguay y alto Paraná) mientras que en invierno y primavera tienden a sobreestimar la precipitación en el sureste de la cuenca (alto Paraná y alto Uruguay) (**Figura A.1.1 del Anexo**).

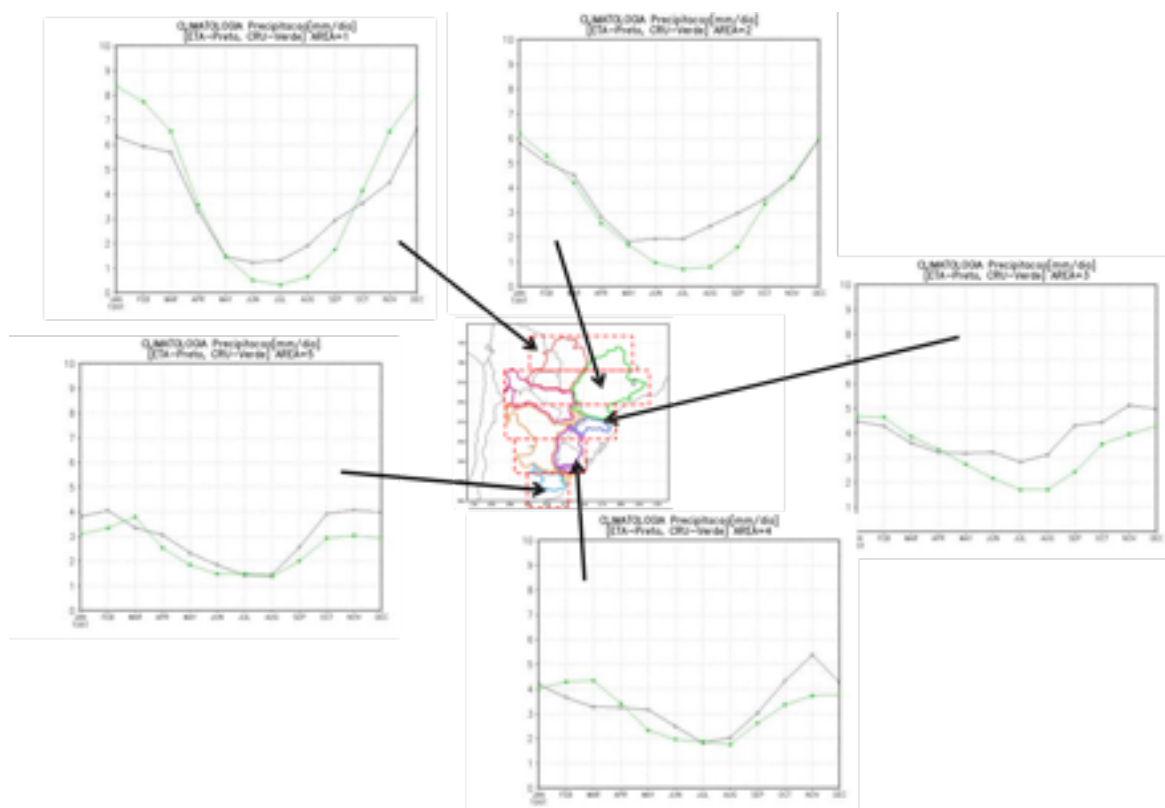
Con respecto a la temperatura del clima presente en la Cuenca del Plata, se puede observar una buena reproducción de esta, si bien subestima la temperatura en el verano y en el otoño en el sureste (alto Uruguay) y en el invierno en el centro oeste de la Cuenca (bajo Paraguay y bajo Paraná), mientras que sobreestima un tanto la tem-

Figura 3.2.2.1

Climatología de la precipitación mensual media (mm/d) del ETA 10 km y del CRU para la Cuenca del Plata

Fuente: CPTEC

Climatología (1961–1990) de la precipitación (mm/d) ETA (negro), CRU (verde)



peratura en la zona ZCAS (alto Paraguay y alto Paraná) (Figura A.1.2 del Anexo).

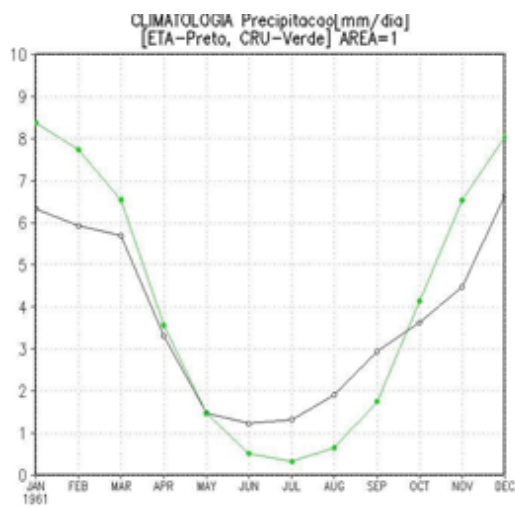
En consecuencia, el modelo ETA ofrece un clima presente (1961–1990) que reproduce campos estacionales de la precipitación y la temperatura del aire, que podrían ser considerados aceptablemente en comparación con los datos observados para el mismo período.

Análisis de climas futuros: respecto de los climas futuros, se presentan resultados de los campos medios estacionales de la precipitación y la temperatura del aire, para los períodos futuros 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100 que son comparados con el clima presente. En la **Tabla 3.2.2.1** se sintetizan los resultados del modelo regional ETA 10 km para períodos climáticos del futuro en relación al clima de 1961–1990. En el Ane-

Figura 3.2.2.2

Climatología de la precipitación mensual media (mm/d), ETA 10 km (negro) y del CRU (verde) para el área 1 (alto Paraguay y alto Paraná)

Fuente: CPTEC



En el Anexo II y en el Anexo III se puede observar un conjunto de mapas de las anomalías futuras de la precipitación y la temperatura del aire en escala estacional.

Análisis de la precipitación: la precipitación según el modelo regional ETA 10 km presenta diferencias o anomalías futuras de la precipitación estacional para los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 en relación con el período de referencia del clima 1961-1990 (esta diferencia es llamada aquí anomalía).

En el período 2011-2040, es posible observar una tendencia de anomalía negativa de la precipitación en buena parte de la Cuenca del Plata, principalmente durante el verano (DEF) y en menor medida en otoño (MAM) y en primavera (SON). Esta anomalía negativa se extiende sobre toda la región cono-

cida como región de la ZCAS, desde la costa Atlántica de la región sudeste hasta la región centro oeste, donde termina el dominio analizado, cabe destacar las fuertes anomalías negativas del verano en la cuenca alta del río Paraná. La disminución de la precipitación es también observada para la estación invernal (JJA) sobre la parte sudeste de Brasil, aunque en menor magnitud. Mientras tanto, se observa una tendencia de aumento de la precipitación en la cuenca alta del río Uruguay durante la primavera (SON) y el otoño (MAM) con extensiones hacia el Río de la Plata (Figura A.2.1 del Anexo).

En el período 2041-2070, se debilita la tendencia de la anomalía negativa de la precipitación en la región ZCAS persistiendo ligeramente durante la primavera (SON) y el verano (DEF). Resalta en este período un cambio en las anomalías de la precipitación sobre el sudeste de Sudamérica. Se observan anomalías positivas en gran parte de la cuenca alta del Paraná y el Uruguay de otoño a primavera y en el Bajo Paraná en el verano (Figura A.2.2 del Anexo).

En el período 2071-2100, resaltan las anomalías negativas del verano en la región ZCAS, Alto Paraguay y Alto Paraná, mientras se observa una tendencia positiva marcada sobre el Alto Paraná y el río Uruguay en todo el año, y en el Bajo Paraná y Río de la Plata en verano y otoño (Figura A.2.3 del Anexo).

Análisis de la temperatura: según el modelo utilizado, el ETA 10 km, la temperatura del clima futuro para los períodos analizados 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, muestran una tendencia persistente de un calentamiento climático, respecto del período de referencia 1961-1990, en toda la Cuenca del Plata.

En el período 2011-2040, se observan las mayores anomalías en la cuenca alta del río

Tabla 3.2.2.1

Resultados del modelo climático regional ETA 10 km para períodos climáticos futuros en relación al clima de 1961-1990

Fuente: CPTEC, 2014

MACRO CUENCA	PRECIPITACIÓN			TEMPERATURA		
	PERIODOS					
	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Alto Paraguay	Disminuye todo el año	Disminuye DEF	Disminuye DEF	Aumenta todo el año >2°C DEF>3,5°C	Aumenta todo el año >3°C	Aumenta todo el año >3°C DEF>4°C
Bajo Paraguay	Disminuye SON-DEF	Aumenta MAM	Aumenta MAM-SON	Aumenta todo el año >2°C	Aumenta todo el año >2,5°C	Aumenta todo el año >2,5°C
Alto Paraná	Disminuye todo el año	Disminuye DEF	Aumenta MAM-JJA-SON	Aumenta todo el año >2°C	Aumenta todo el año >2,5°C	Aumenta todo el año >2,5°C
Bajo Paraná	Aumenta MAM-DEF	Aumenta MAM-DEF	Aumenta MAM-DEF	Aumenta todo el año >2°C	Aumenta todo el año >2°C	Aumenta todo el año >2,5°C
Alto Uruguay	Aumenta MAM-SON	Aumenta MAM-JJA-SON	Aumenta todo el año	Aumenta todo el año >2°C	Aumenta todo el año >2,5°C	Aumenta todo el año >2,5°C
Bajo Uruguay	Aumenta DEF	Aumenta JJA-DEF	Aumenta MAM-DEF	Aumenta todo el año >1°C	Aumenta todo el año >2°C	Aumenta todo el año >2,5°C
Río de la Plata	Aumenta DEF	Aumenta DEF	Aumenta MAM-DEF	Aumenta todo el año >1°C	Aumenta todo el año >2°C	Aumenta todo el año >2,5°C

Paraguay, en la región conocida como Pantanal, especialmente en el verano con anomalías de hasta 3,5°C. En la misma región se observan máximos también en otoño y en primavera, siendo el invierno la estación que presenta anomalías más suaves, aunque con valores significativos de 2°C o mayores (Figura A.3.1 del Anexo).

En el período 2041-2070, el calentamiento del clima continúa su marcha ascendente, observándose anomalías entre 2,5°C-4,0°C en la

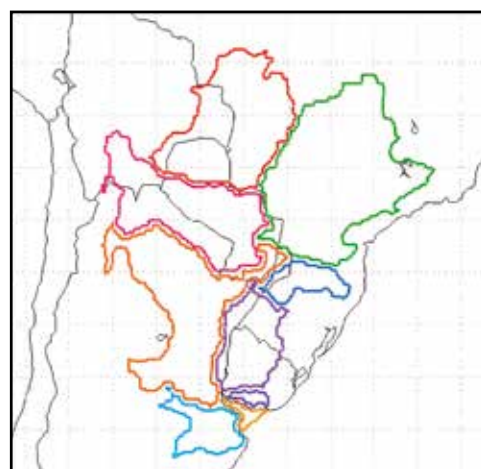
primavera y en el verano, con calentamiento más ameno en otoño e invierno, 2,5°C-3,0°C en la Cuenca del Plata, siendo la zona más caliente nuevamente la región del Pantanal en el Alto Paraguay (Figura A.3.2 del Anexo).

En el período 2071-2100, el calentamiento persiste observándose anomalías positivas de 2,5°C-4,0°C entre el verano y el otoño. Un régimen casi similar acontece en el invierno y la primavera con un calentamiento del clima generalizado en la Cuenca del Plata. La

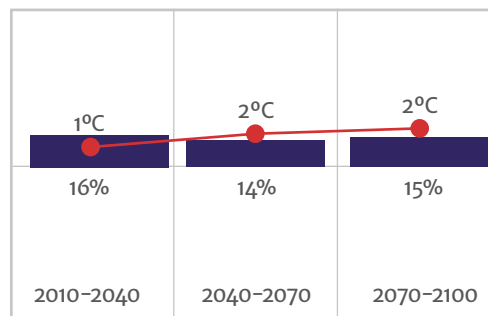
Figura 3.2.2.3

Proyecciones de la anomalía de la precipitación anual media (%) y la anomalía de la temperatura anual media (°C), para las tres décadas consideradas, para cada una de las subcuencas y para la Cuenca del Río de la Plata

Fuente: CPTEC, 2014

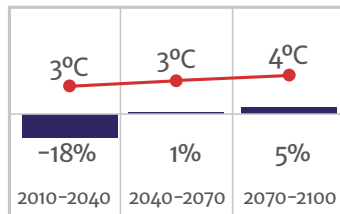


Cuenca del Plata

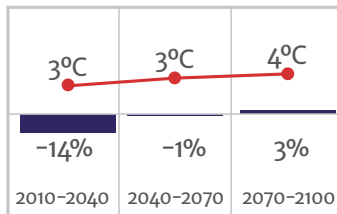


■ Proyección de anomalía de temperatura (°C)
■ Proyección de anomalía de precipitaciones (%)

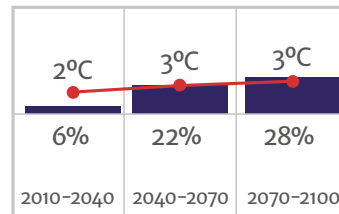
Alto Paraná



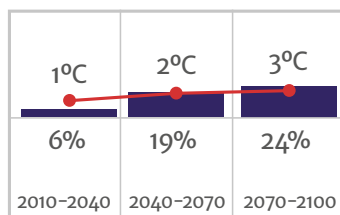
Alto Paraguay



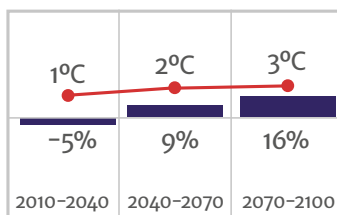
Alto Uruguay



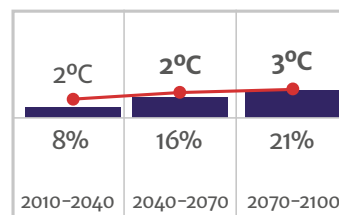
Bajo Paraná



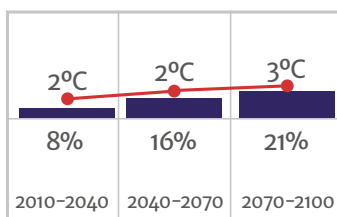
Bajo Paraguay



Bajo Uruguay



Desembocadura de la cuenca



zona septentrional es la que presenta el mayor calentamiento (Figura A.3.3 del Anexo).

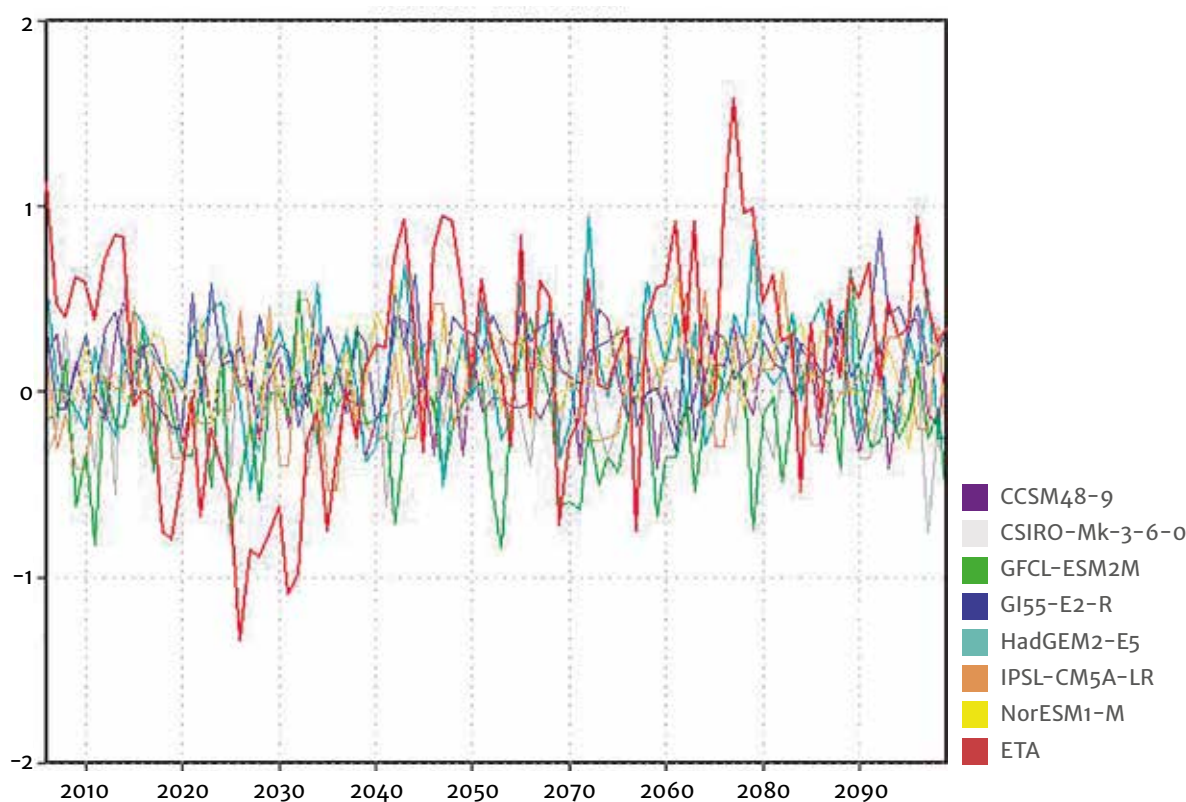
En términos anuales, se puede sintetizar el comportamiento de la precipitación y de la temperatura para toda la Cuenca del Plata como así también para cada una de las subcuencas (Figura 3.2.2.3). Las barras azules muestran la variación de la precipitación anual en porcentaje, mientras que la línea roja muestra la anomalía de la temperatura anual media, que en todos los casos denota un calentamiento futuro. Cabe destacar que en esta síntesis la integración ocurre sobre el total de cada una de las cuencas y en períodos anuales. Un análisis estacional y más detallado espacialmente, tal como se menciona brevemente en la página 70, puede

observarse con mayor detalle en las figuras del anexo correspondiente.

En conocimiento de las limitaciones que implica sacar conclusiones sobre el clima del futuro, observando un solo modelo y un solo escenario, se creyó conveniente atender a la evolución temporal de otros modelos climáticos, con el simple objetivo de compararlos con el modelo regional ETA. En particular, se compararon las salidas de siete modelos del CMIP-5 (*Couple Model Inter-comparasion Project Phase 5*): CCSM4, CSIRO-Mk-3-6-0, GFDL-ESM2M, GISS-E2-R, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, NorESM1-M y el modelo regional ETA. Para el cálculo de la anomalía fue utilizado el período histórico (1961-1990) de los respectivos modelos.

Figura 3.2.2.4

Evolución de la anomalía de la precipitación (mm/d) para el área de la Cuenca del Plata, según varios modelos



La evolución temporal corresponde a la totalidad del área de la Cuenca del Plata.

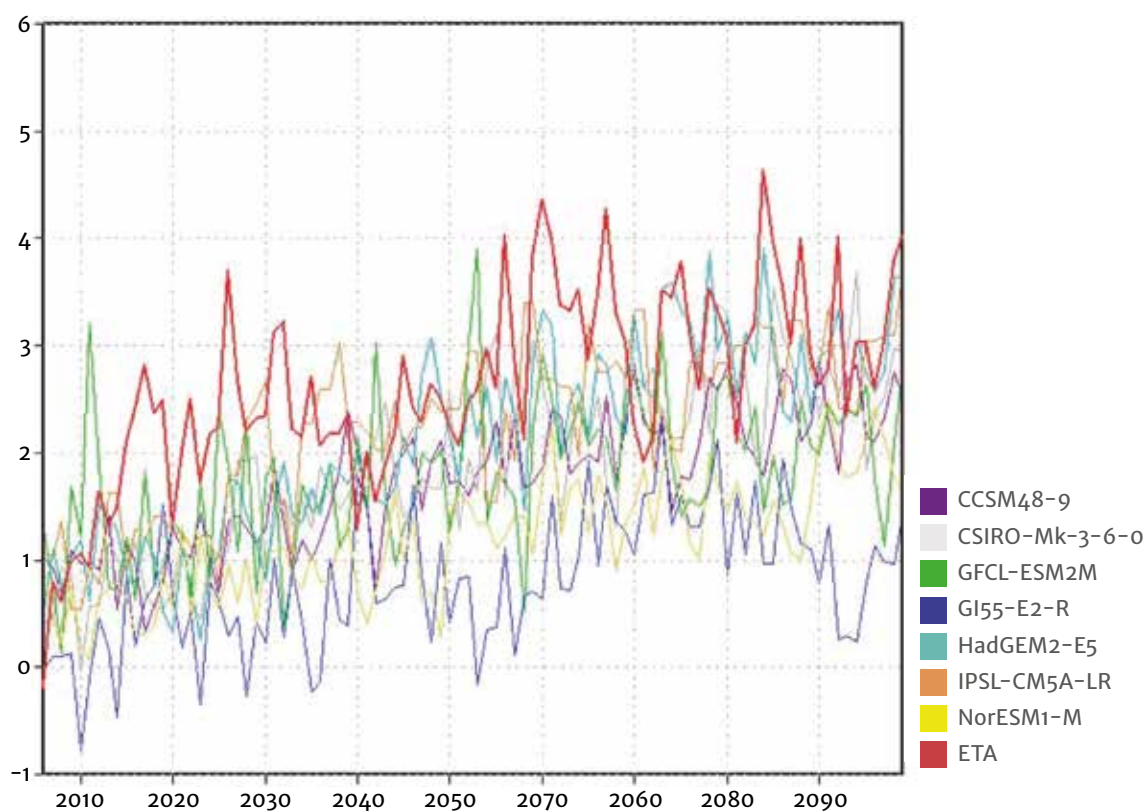
En referencia a esta comparación, en la **Figura 3.2.2.4** se sintetiza la tendencia de la anomalía de la precipitación que es integrada y representada para toda el área correspondiente a la Cuenca del Plata de los modelos mencionados y del ETA. Así podemos observar que el modelo regional ETA muestra una tendencia negativa de la precipitación en un período comprendido entre finales de la presente década y el año 2040, mucho más acentuada que los otros modelos comparados. Así mismo, después del año 2040 acompaña bien el aumento de la precipitación hasta finales de siglo, al igual que los otros modelos, aunque presenta una variabilidad mayor.

Con respecto a la evolución de la temperatura del aire, integrada para toda la Cuenca del Plata, el modelo ETA/CPTEC/INPE presenta una tendencia de anomalías positivas de temperaturas más elevadas en relación con los otros modelos a lo largo de todo el período de integración. De todas formas, se observa un buen acompañamiento de la tendencia marcada por los otros modelos (**Figura 3.2.2.5**).

Dadas estas observaciones, y considerando las limitaciones que aún presentan los modelos climáticos para reproducir el clima del futuro, y teniendo en cuenta la dispersión de los resultados, podríamos pensar que el modelo ETA/CPTEC/INPE puede ser considerado como una guía a considerar

Figura 3.2.2.5

Evolución de la anomalía de la temperatura del aire (°C) para el área de la Cuenca del Plata, según varios modelos



para los análisis de los escenarios climáticos del futuro.

3.2.3 Breve discusión acerca del clima cercano (2011-2040)

Se considera que los escenarios climáticos son herramientas útiles para evaluar impactos hidroclimáticos en diversos sectores y para el diseño de modelos de adaptación al clima del futuro.

Considerando escenarios inmediatos en términos climáticos, el período 2011-2041 presenta situaciones tales como una disminución de la precipitación en gran parte de la cuenca y un aumento considerable de la temperatura (Anexo II y Anexo III). Este escenario climático podría afectar los recursos hídricos en la Cuenca del Plata.

En un escenario con menor precipitación y mayor temperatura, el balance hidrológico regional podría conducir a caudales medios en descenso, facilitando la ocurrencia de eventos extremos, por ejemplo, con mayor posibilidad de sequías e incendios forestales. Este tipo de escenario podría afectar sensiblemente la navegación de los ríos, por

ejemplo, el río Paraguay. Esto traería, a su vez, consecuencias económicas importantes dado que la economía regional depende en gran medida del transporte fluvial.

Con un escenario de la humedad del suelo en disminución o en permanente déficit, podría haber un fuerte impacto en la producción agrícola y ganadera y en consecuencia un impacto socio-económico.

La reducción de los recursos de aguas superficiales y subterráneas pondría en compromiso el abastecimiento de agua potable para consumo humano, creando por un lado problemas sociales por la disputa por el agua y problemas de salud por enfermedades relacionadas con esta.

También la disminución de los caudales medios podría afectar la calidad de las aguas de los ríos transfronterizos. El avance de la frontera agrícola en la Cuenca del Plata se agudiza en un escenario de una agricultura en expansión. Esta situación podría aumentar la concentración de contaminantes en los cursos hídricos como también el transporte y el depósito de sedimentos.

3.3 Extremos climáticos

El informe especial sobre extremos climáticos fue creado por una comisión especial del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), en respuesta a una reconocida necesidad de proveer consejos específicos sobre cambio climático, condiciones meteorológicas extremas y eventos climáticos (extremos climáticos). El informe completo está disponible en: <http://ipcc-wg2.gov/srex>.

Los principales mensajes sintetizados del informe sobre extremos climáticos son:

1. Aún sin tener en cuenta el cambio climático, el riesgo de desastres continuará aumentando en muchos países, siempre que más personas y bienes vulnerables estén expuestos a extremos climáticos.
2. En las próximas dos o tres décadas, el aumento esperado en la frecuencia de extremos climáticos será con probabilidad relativamente pequeño comparado con las variaciones anuales normales de tales extremos.
3. No obstante, en la medida en que los impactos del cambio climático se tornen más dramáticos, sus efectos en una faja de extremos climáticos se tornarán más importantes, y tendrán un papel más significativo en los impactos de desastres.
4. Cualquier demora en la mitigación de los gases de efecto invernadero probablemente llevará a extremos climáticos más graves y frecuentes en el futuro y probablemente contribuirá a más pérdidas por desastres.

3.3.1 Definiendo extremos climáticos

Un clima que cambia lleva a alteraciones en la frecuencia, intensidad, extensión espacial y duración de extremos de condiciones meteorológicas y climáticas, pudiendo resultar en eventos sin precedentes. «Un evento extremo (de condiciones meteorológicas o climáticas), es generalmente definido como la ocurrencia de un valor de una variable de condición meteorológica o climática por encima (o por debajo) de un valor límite, cerca de las extremidades superiores (o inferiores) de una faja de valores de la variable observada» (Figura 3.3.1.1).

Los extremos climáticos en sistemas humanos, ecológicos o físicos pueden resultar de eventos individuales de extremos meteorológicos o climáticos, de eventos no extremos donde la exposición y la vulnerabilidad son altas, o de una combinación de eventos o de sus impactos.

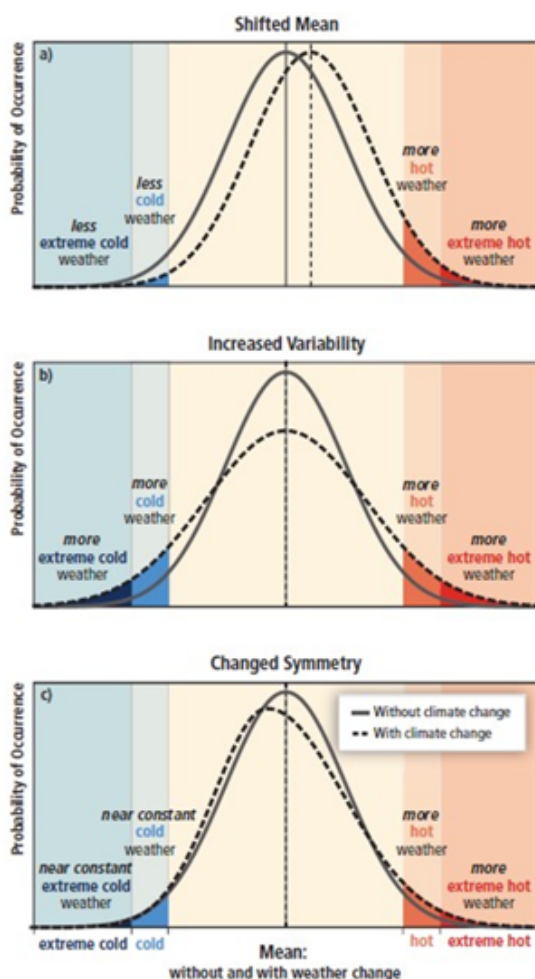
Los altos niveles de exposición y vulnerabilidad son generalmente resultados de procesos de desarrollo asimétrico, como por ejemplo una gestión ambiental deficiente, cambios demográficos, urbanización acelerada y no planificada, políticas desacertadas y falta de oportunidades. Esto puede resultar en ocupaciones en áreas de riesgo, crecimiento de urbanizaciones inseguras, hacinamientos, pobreza y falta de percepción del riesgo.

Los patrones de cambio en la exposición y en la vulnerabilidad son los principales elementos que promueven riesgo y pérdidas por desastres. Entender la naturaleza multifacética tanto de exposición como de vulnerabilidad es un prerrequisito para determinar cómo las condiciones meteorológicas o los eventos climáticos contribuyen a la ocurrencia de desastres, y para el diseño y

Figura 3.3.1.1

Efectos de cambios en la distribución de la temperatura en los extremos. Diferentes cambios en la distribución de temperatura entre el clima presente y futuro y sus efectos en la distribución de valores extremos: (a) Efectos de un simple desplazamiento de la media hacia un clima más caliente; (b) Efectos en el incremento en la variabilidad de la temperatura sin cambios en la media; c) Efectos en la alteración de la asimetría de la distribución, en este ejemplo un cambio en la asimetría hacia la parte más caliente de la distribución.

Fuente: IPCC, 2012.



la implementación de estrategias de adaptación y gestión de riesgo de desastres.

A continuación se presentan algunos resultados de extremos climáticos del modelo regional ETA-CPTEC. Respecto de la precipitación total anual se observa un aumento a lo largo del siglo. Si bien en el período 2011-2040, la precipitación total anual es inferior al clima actual en el norte de la cuenca, posteriormente tiende a aumentar. En el centro y sur de la cuenca tiende a aumentar respecto del presente. El número de días con lluvia tiende a aumentar a lo largo del siglo, dejando entrever una mayor actividad de los sistemas precipitantes durante este período (Figura 3.3.1.2).

Siguiendo con los resultados del ETA, los días secos consecutivos irían disminuyendo durante el siglo XXI, mientras que los días húmedos consecutivos irían aumentando durante este lapso, guardando consistencia con la tendencia de la precipitación anual. Llama la atención una intensificación de días secos al oeste de la Cuenca, sugiriendo una estación seca más prolongada. De todas formas, las lluvias durante el período lluvioso tienden a ser potencialmente más frecuentes e intensas (Figura 3.3.1.3).

La ocurrencia de eventos extremos también tiende a manifestarse en la intensidad de las lluvias. Los días con lluvia fuerte estarían aumentando en el presente siglo, especialmente en el sureste de la Cuenca del Plata como así también los días con lluvia muy fuerte (Figura 3.3.1.4).

Con respecto a la temperatura se observa que los días calientes presentan una tendencia de aumento, especialmente en el centro y en el norte de la cuenca, y que los días fríos estarían disminuyendo. Esto no implica que eventos esporádicos o individuales no puedan actuar, como frentes fríos

Figura 3.3.1.2

Anomalía de la precipitación total anual (arriba) y número de días con lluvia (abajo)

Fuente: ETA-CPTEC.

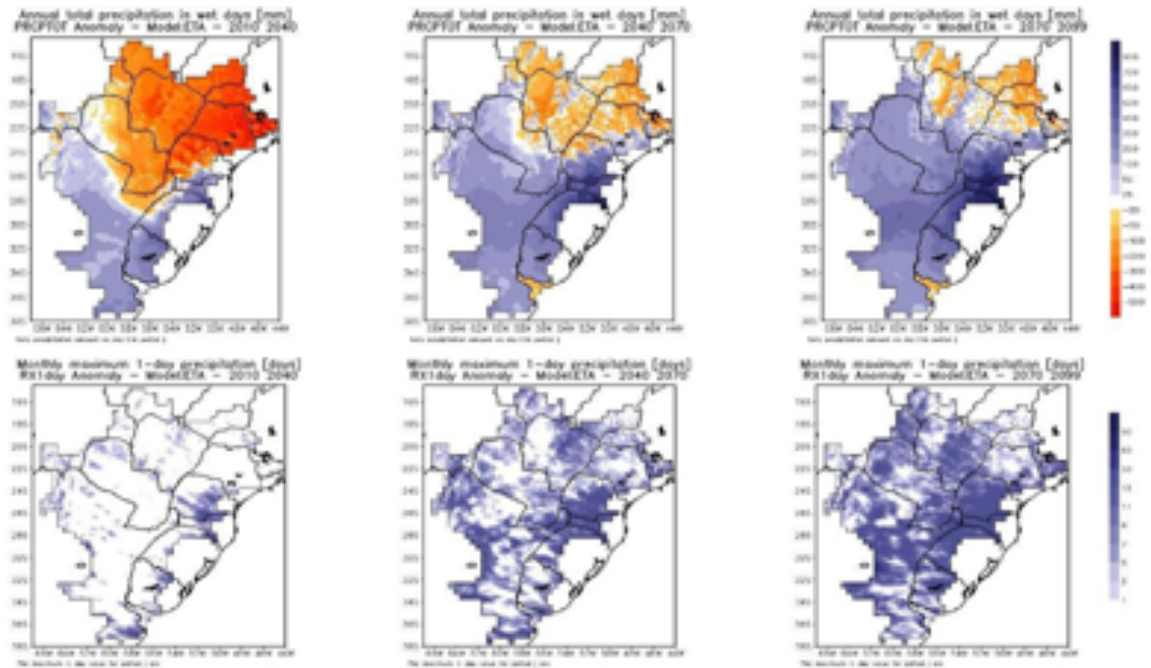


Figura 3.3.1.3

Días secos consecutivos (arriba) y días húmedos consecutivos (abajo)

Fuente: ETA-CPTEC.

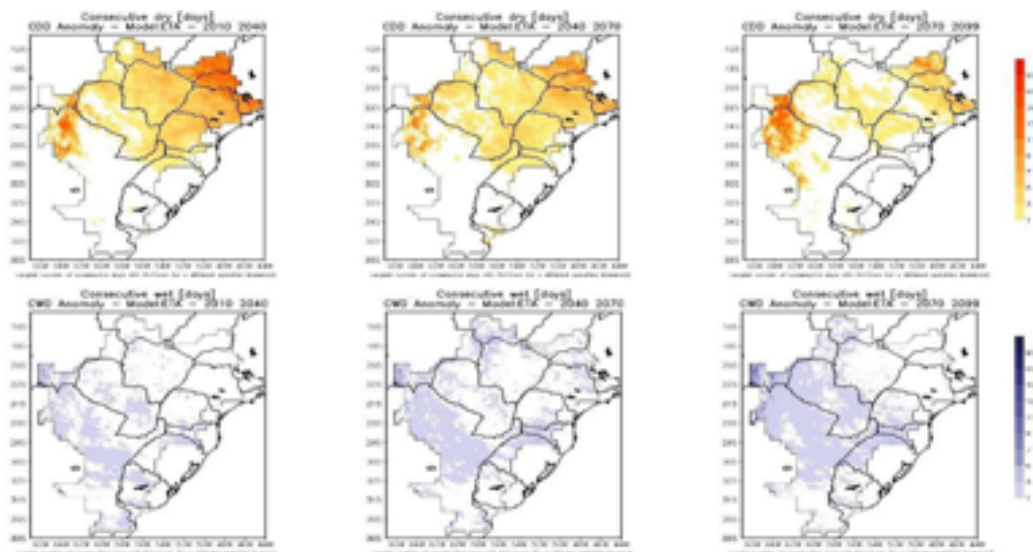


Figura 3.3.1.4

Días con lluvia fuerte (arriba) y días con lluvia muy fuerte (abajo)

Fuente: ETA-CPTEC.

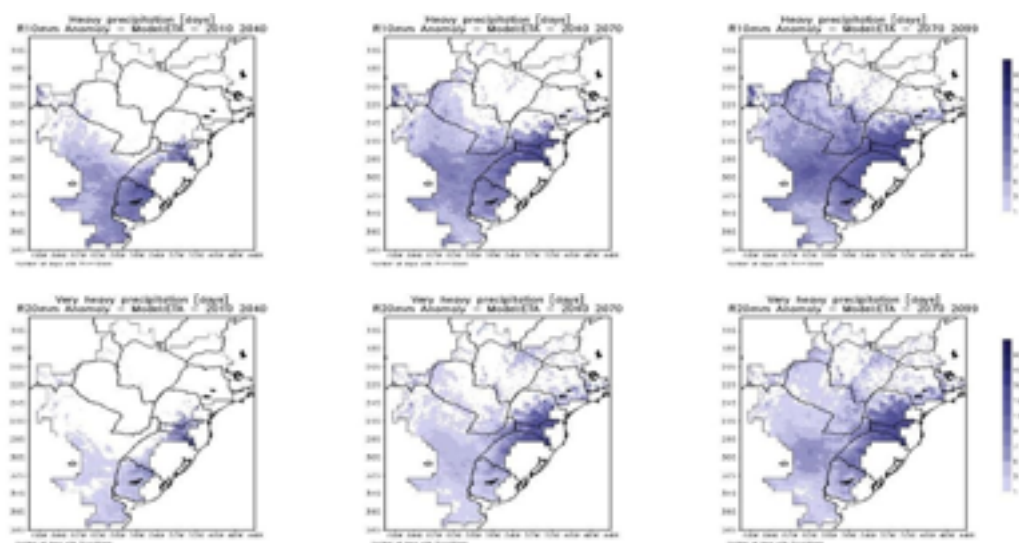
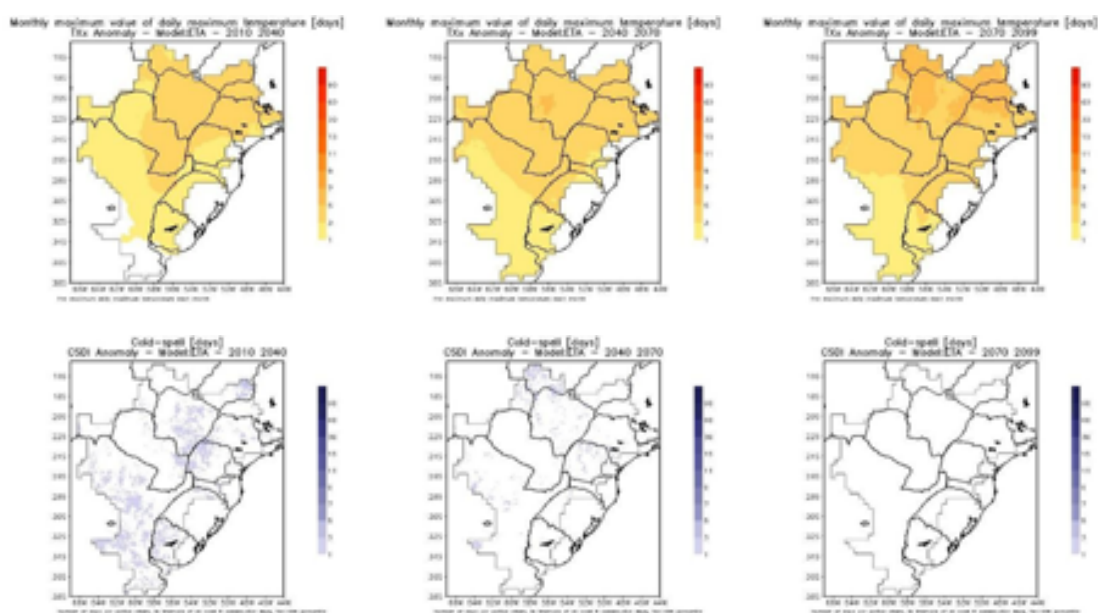


Figura 3.3.1.5

Días calientes (arriba) y días fríos (abajo)

Fuente: ETA-CPTEC.



intensos, y producir extremos marcados de temperaturas (Figura 3.3.15).

3.3.2 Consecuencias de extremos climáticos

En este apartado se destacarán los efectos de los extremos climáticos. La base científica también muestra cómo los impactos incrementales relacionados con el clima, más que los eventos extremos en sí, pueden tener consecuencias extremas donde existe una alta vulnerabilidad.

Las inundaciones, sean debidas al cambio climático, a la degradación ambiental o a otros factores sociales, pueden conducir a un cambio geográfico. El estrés por calor puede causar muertes aún en países tropicales, donde las personas están adaptadas a un clima caliente.

La elevación del nivel del mar puede exacerbar inundaciones, erosiones u otros riesgos costeros, amenazar infraestructuras, poblaciones e instalaciones, comprometiendo el bienestar socioeconómico. En Mar del Plata (Argentina) la elevación del nivel del mar ocurrió en relación con el aumento del número y la duración de las tempestades en el decenio de 1996 a 2005, comparados con registros de decenios anteriores.

Los extremos climáticos pueden resultar en un amplio espectro de impactos, tanto sobre sistemas humanos o ecosistemas, incluyendo pérdidas económicas, impactos sobre diferentes sectores como la agricultura, el turismo o las poblaciones urbanas. La gravedad de esos impactos dependerá fuertemente del nivel de exposición y vulnerabilidad a los extremos del clima. Los eventos extremos tienen los mayores impactos en sectores que están muy ligados al clima, como por ejemplo la seguridad de acceso al agua potable, la seguridad alimen-

taria y la salud pública, entre otros. Existe una alta confianza en que el cambio climático podría afectar la gestión de los recursos hídricos.

Las inundaciones normalmente afectan a las ciudades y a la producción de alimentos. Las lluvias intensas y las inundaciones también pueden afectar la calidad del agua superficial y la salud en áreas urbanas. La forma en que una comunidad responde a los desastres depende de los recursos disponibles para ello.

La adaptación y la anticipación a los eventos extremos pueden ayudar a limitar la «batalla» que tiene que ser librada para sobrellevar el próximo desastre. La capacidad adaptativa percibe a largo plazo ajustes sustentables, por ejemplo: mejores técnicas para captación de agua de lluvia, rotación de cultivos o construcciones y viviendas en zonas más elevadas. Como los posibles climas del futuro son inciertos, se recomiendan estrategias de adaptación «sin arrepentimientos». Ellos tienen beneficios netos sobre una amplia gama de climas futuros e impactos asociados. Aprender es esencial para la gestión del riesgo y la adaptación. Investigaciones realizadas sobre lo aprendido enfatizan la importancia de la resolución de problemas orientada por la acción, aprender haciendo, y procesos concretos de lo aprendido.

La transformación puede implicar una pérdida de lo que es familiar, creando una sensación de desequilibrio e incerteza. Quiérase o no, las transformaciones están ocurriendo a una velocidad y a una escala sin precedentes, influenciadas por la globalización, el desarrollo social y tecnológico, y el cambio ambiental. El cambio climático en sí representa una transformación a gran escala del sistema, que tendrá amplias consecuencias sobre la ecología y

la sociedad, inclusive a través de cambios en los extremos climáticos. Las respuestas al cambio climático y los cambios en el riesgo de desastres pueden ser tanto incrementales como transformacionales. La

transformación requiere liderazgo, sea de autoridades políticas que poseen el poder, o sea de individuos o grupos que conectan las acciones actuales con la construcción de un futuro sustentable y resiliente.

Capítulo 4:

Conclusiones

1. La posibilidad de mejorar el conocimiento sobre los recursos hídricos en la Cuenca del Plata tiene, como uno de sus soportes, la cantidad y la calidad de la información disponible. La red de monitoreo hidrometeorológico, compuesta por las estaciones meteorológicas e hidrológicas de superficie, es en la actualidad muy importante en la Cuenca del Plata. No obstante, podría ser mejorada en algunas subcuencas que presentan una densidad de observaciones insuficiente, especialmente las pluviométricas e hidrométricas.
2. La posibilidad de establecer un Sistema de Predicción y Alertas Hidrometeorológico Integrado en la Cuenca del Plata tendría más oportunidades de éxito si pudieran mejorarse e integrarse las redes de monitoreo, especialmente las estaciones hidrometeorológicas de superficie y los radares meteorológicos. Con respecto a estos últimos, la posibilidad de ampliar la cobertura de radares en Paraguay e instalar un radar meteorológico en Uruguay sería un gran avance para las redes de monitoreo hidrometeorológico con vistas a una integración regional.
3. Las mediciones de calidad de agua son un caso particular ya que en ciertas partes de la Cuenca del Plata deberían de ser mejoradas, especialmente en las cuencas media y baja del Río Paraguay.
4. El rápido avance de la instalación y operación de radares meteorológicos en la Cuenca del Plata es un punto fuerte a tener en cuenta, así como los planes existentes en la actualidad de mejoras en la densidad de estos, especialmente en Argentina, Brasil y Paraguay, y hacen propicia la oportunidad para integrarlos dentro del marco de la Cuenca del Plata.
5. Los avances observados en la consolidación del CRC-SAS y en la implementación de WIGOS podrían ser muy beneficiosos para los proyectos que el MMSC pueda implementar en América del Sur, y todas estas instancias podrían transformarse en herramientas útiles para las iniciativas de mejorar los sistemas de monitoreo y alertas hidrometeorológicas e hidroclimáticas de la Cuenca del Plata.
6. La visión de Cuenca del Plata debería de ser consolidada como un espacio

común. La mayoría de los productos y servicios hidroclimáticos vistos en este material tienen un dominio que naturalmente corresponde a un estado o país. Esa visión de «nuevo país» podría ser fundada desde la óptica de la gestión sostenible de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata ante los efectos de la variabilidad y del cambio climático.

7. Se observa una gran capacidad técnica y operativa por parte de varias instituciones nacionales en la región que pueden mejorar los conocimientos actuales y que, integrados, pueden mejorar los conocimientos sobre los futuros escenarios hidroclimáticos en la Cuenca del Plata para establecer medidas de adaptación bien orientadas.
8. En los últimos años la lluvia aumentó sobre la Cuenca del Plata, como así también los eventos extremos. Los escenarios climáticos presentan un aumento hacia finales del siglo en relación con la climatología de 1961-1990. La temperatura aumentaría también a lo largo del siglo XXI. Las consecuencias de estos escenarios potencian la posibilidad de daños, que podrían ser profundos en agricultura, pecuaria, recursos hídricos, salud y en áreas urbanas con inundaciones y deslizamientos de tierra.
9. No obstante, estos escenarios poseen un grado de incerteza, debiendo profundizarse el estudio de la variabilidad del clima observado en las escalas de tiempo más largas posibles y la estandarización de las metodologías que permitan estudios integrados y que potencien la comparación. Estos son factores positivos para profundizar el conocimiento y obtener una mejor caracterización de los eventos extremos y de su variabilidad.
10. Se dispone de los escenarios climáticos para la Cuenca del Plata. El CPTEC ha realizado simulaciones con el modelo climático regional ETA, con resoluciones de 10 km y 20 km, forzado con el modelo HadGEM2-ES del IPCC AR5, para el escenario RCP 4.5 (moderado), para el período 1960-2100, con el objetivo de evaluar situaciones de posibles cambios climáticos. Se presentan resultados de los campos medios estacionales de la precipitación y la temperatura del aire, para los períodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 comparados con el clima del período 1961-1990.
11. La integración de los recursos disponibles en los países que conforman la cuenca es una alternativa como camino a seguir para facilitar la toma de decisiones en tiempo real que permitan mejorar el tiempo de respuesta de las alertas hidroclimáticas, con el objeto de paliar las pérdidas humanas, económicas y sociales que generan los eventos hidrometeorológicos extremos. Las líneas en las que se debe poner esfuerzos de integración para fortalecer los sistemas de alerta temprana existentes deberían ser: el monitoreo; la identificación y el conocimiento del riesgo; la comunicación y la difusión; y capacidad de respuesta.
12. El CIC Plata, como órgano intergubernamental, posee esta vocación de integrar las informaciones ambientales. Su acción estratégica potencia los estudios, fomenta la investigación y el desarrollo e incentiva la innovación tecnológica en todos los países que componen la Cuenca del Plata. Todo esto a través de la integración de datos y de retorno de estos ya tratados para los países. Como resultado directo de

este esfuerzo se ve la profundización del conocimiento regional y consecuentemente la posibilidad de mejo-

rar las predicciones de corto, mediano y largo plazo y la generación de escenarios climáticos.

Referencias

- Andrade, K. M. (2005). Climatología e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE-14056-TDI/1067.
- Berri, G. J., Bertossa, G. I. (2004). The influence of the tropical and subtropical Atlantic and Pacific Oceans on precipitation variability over Southern Central South America on seasonal time scales. *International Journal of Climatology*, 24, 415–435.
- Cavalcanti, I. F. A., Carril, A. F., Penalba, O. C., Grimm, A. M., Menéndez, C. G., Sanchez, E., “...” Flach, R. (2015). Precipitation extremes over La Plata Basin—Review and new results from observations and climate simulations. *Journal of Hydrology*.
- Cherchi, A., Carril, A., Menendez, C., Zamboni, L. (2014). La Plata Basin precipitation variability in spring: Role of remote SST forcing as simulated by GCM experiments. *Clim. Dyn.* 42, 219–236.
- Cunningham, C. C., Cavalcanti, I. F. A. (2006). Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. *International Journal of Climatology*, 26, 1165–1180.
- Diaz, A. F., Studzinski, C. D., Mechoso, C. R. (1998). Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *Journal of Climate*, 11, 251–271.
- Doyle, M. E., Barros, V. R. (2011). Attribution of the river flow growth in the Plata basin. *International Journal of Climatology*, 31(15), 2234–2248.
- Doyle, M.E., Barros, V. R. (2002). Midsummer low-level circulation and precipitation in subtropical South America and related sea surface temperature anomalies in the South Atlantic. *Journal of Climate*, 15, 3394– 410.
- García, A., N. O., Vargas, W. M. (1998): The temporal climatic variability in the Rio de La Plata basin displayed by the river discharges. *Climatic Change*, 38, 359–379.
- Grimm, A. M., Barros, V. R., Doyle, M.E. (2000). Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 13, 35–58.
- Grimm, A. M., Vera C. S., Mechoso, C. R. (2004). The South American Monsoon System en *International Workshop on Monsoons*. Hangzhou, China. Proceeding Hangzhou: World Meteorological Organization, (pp. 111–129).
- Groisman, P., Knight, R., Easterling, D., Karl, T., Hegerl, G., Razuvaev V. (2005). Trends intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*.
- Haylock, M. R., Peterson T., Abreu de Sousa J. R., Alves L. M., Ambrizzi T., Baez J., “...” Yumiko

- M. (2006). Trends in total and extreme South American rainfall 1960–2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19, 1490–1512.
- IPCC (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. “...” Midgley, P.M. (Ed.)] (pp. 582). UK and New York, USA: Cambridge University Press.
- Marengo, J. (2004). Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 78, 79–96.
- Marengo, J. (2006). Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade. *Biodiversidade*, 26. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- Mendes, M. C. D, Trigo, R.M., Cavalcanti, I.F.A, DaCamara, C.C. (2008). Blocking episodes in the Southern Hemisphere: Impact on the climate of adjacent continental áreas. *Pure and Applied Geophysics*, 165, 1941–1962.
- Mourao, C. E. F. (2014). Relatório contendo a análise das simulações do modelo ETA-10 km para a região da Bacia do Prata, utilizando as condições do HadGEM2-ES RCP 4.5, para o período de 1961–2100, (pp. 26).
- Mourao, C. E. F., 2014. Relatório contendo a análise das simulações do modelo ETA-20 km para a região da Bacia do Prata, utilizando as condições do HadGEM2-ES RCP 4.5, para o período de 1961–2100, (pp. 20).
- Nogues-Paegle, J., Mo, K. C. (1997). Alternating wet and dry conditions over South America during summer *Monthly Weather Review*, 125, 279–291.
- OMM (2014). Plan de ejecución del Marco Mundial para los servicios climáticos. OMM N° 49, Reglamento Técnico. Ginebra, Suiza.
- OMM (2011). Del conocimiento climático a la acción: Marco Mundial para los Servicios Climáticos – Potenciar la Capacidad de los más Vulnerables. Informe del Equipo Especial de Alto Nivel sobre el Marco Mundial para los Servicios Climáticos. OMM N° 1065. Ginebra, Suiza.
- Robertson, A. W., Mechoso, C. R. (1998). Interannual and decadal cycles in river flows of southeastern South America. *Journal of Climate*, 11, 2570–2581.
- Rodrigues, D. A., Cavalcanti, I. F. A. (2006). Simulations of the hydrologic cycle over Southern South America using the CPTEC/COLA AGCM. *Journal of Hydrometeorology*, 7, 916–936.
- Satyamurty, P., Nobre, C. A., Dias, P. L. S. (1998). South America en: Karoly, D. J., Vincent, D. G. *Meteorology of the Southern Hemisphere* (pp. 243–282). Boston: American Meteorology Society.

- Teixeira, M. S. (2004). Atividade de ondas sinópticas relacionadas a episódios de chuvas intensas na região sul do Brasil. Dissertação de Mestrado-Meteorologia. INPE, São Jose dos Campos. (pp. 94).
- Tucci, C. E. M., Clarke, R. T. (1998). Environmental issues in the La Plata Basin. *Water Resources Development*, 14, 157-174.
- Zamboni, L., Kucharski, F., Mechoso, C. R. (2012). Seasonal variations of the links between the interannual variability of South America and the South Pacific. *Clim. Dynam*, 38, 2115-2129.
- Zamboni, L., Mechoso, C. R., Kucharski, F. (2010). Relationships between upper-level circulation over South America and rainfall over Southeastern South America. *Journal of Climate*, 23, 3300-3315.

Anexos

Anexo 1: Análisis del clima presente ETA-CRU 1961-1990

Figura A.1.1

Desvíos estacionales de la precipitación (mm/d) del modelo ETA-10 km respecto a los datos de base

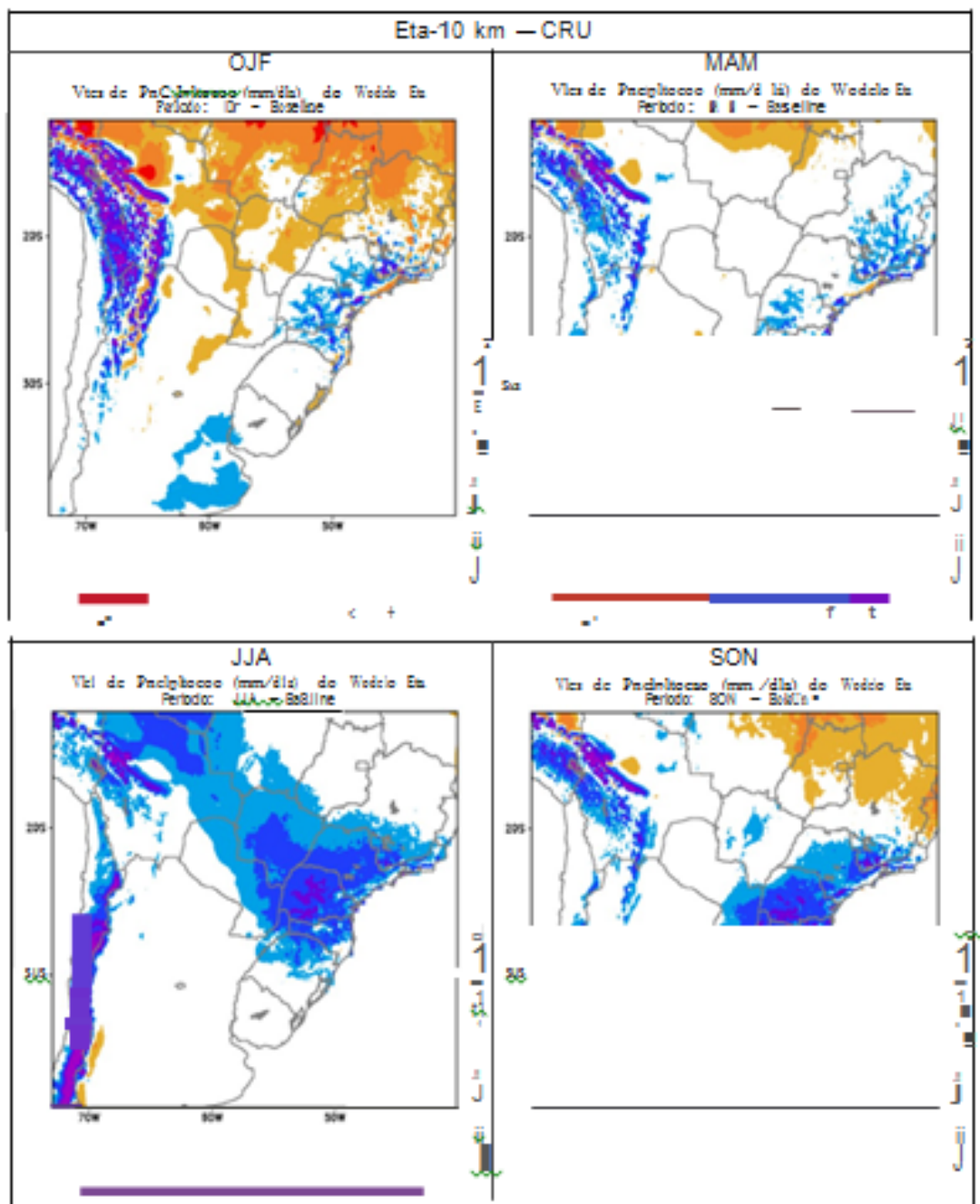
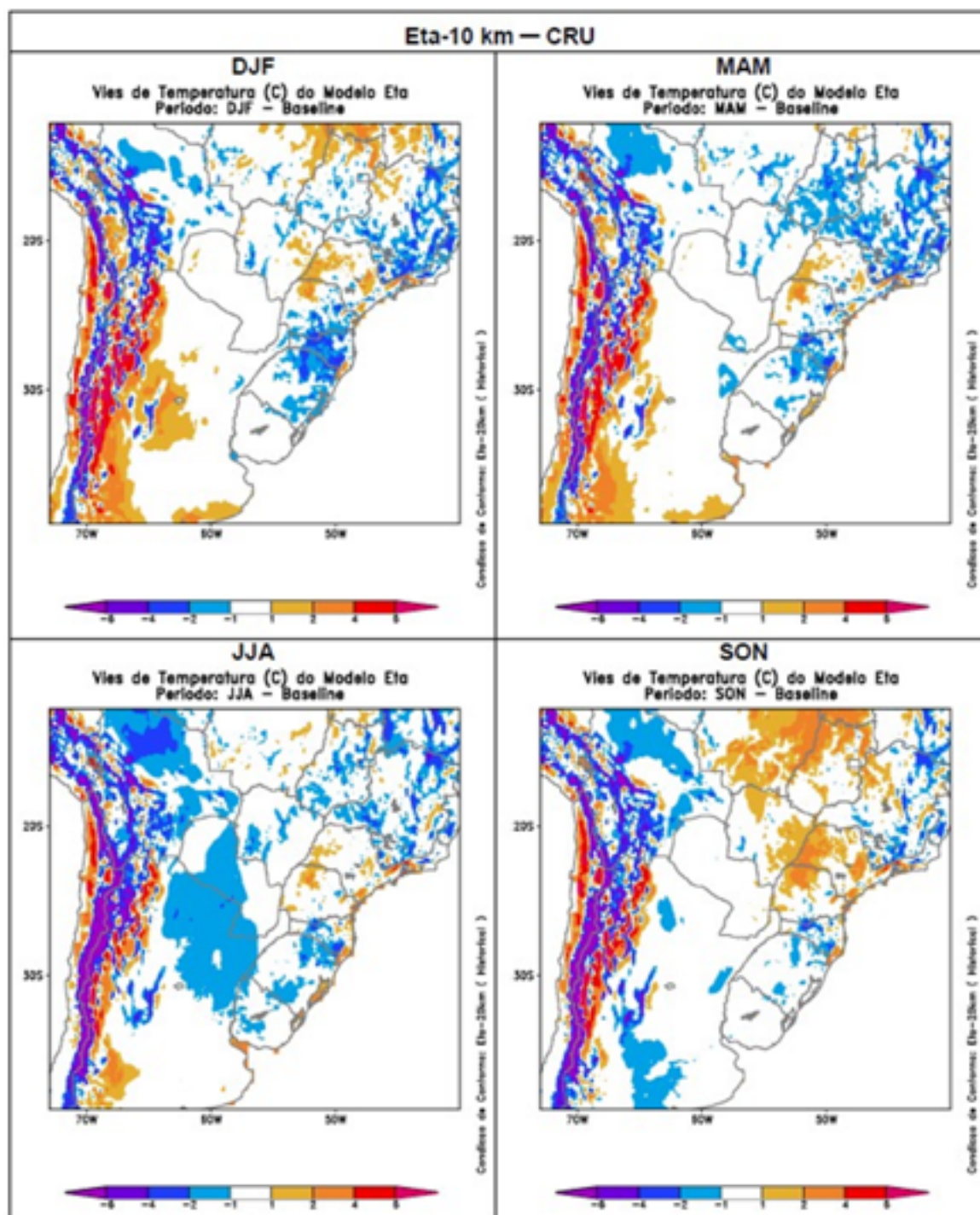


Figura A.1.2

Desvíos estacionales de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del modelo ETA-10 km respecto a los datos de base



Anexos

Anexo 2: Anomalía de la Precipitación (mm/d) 2011-2040, 2041-2070 y 2071- 2100

Figura A.2.1

Anomalía media de la precipitación estacional (mm/d) para el período 2011-2041, con respecto al período 1961-1990

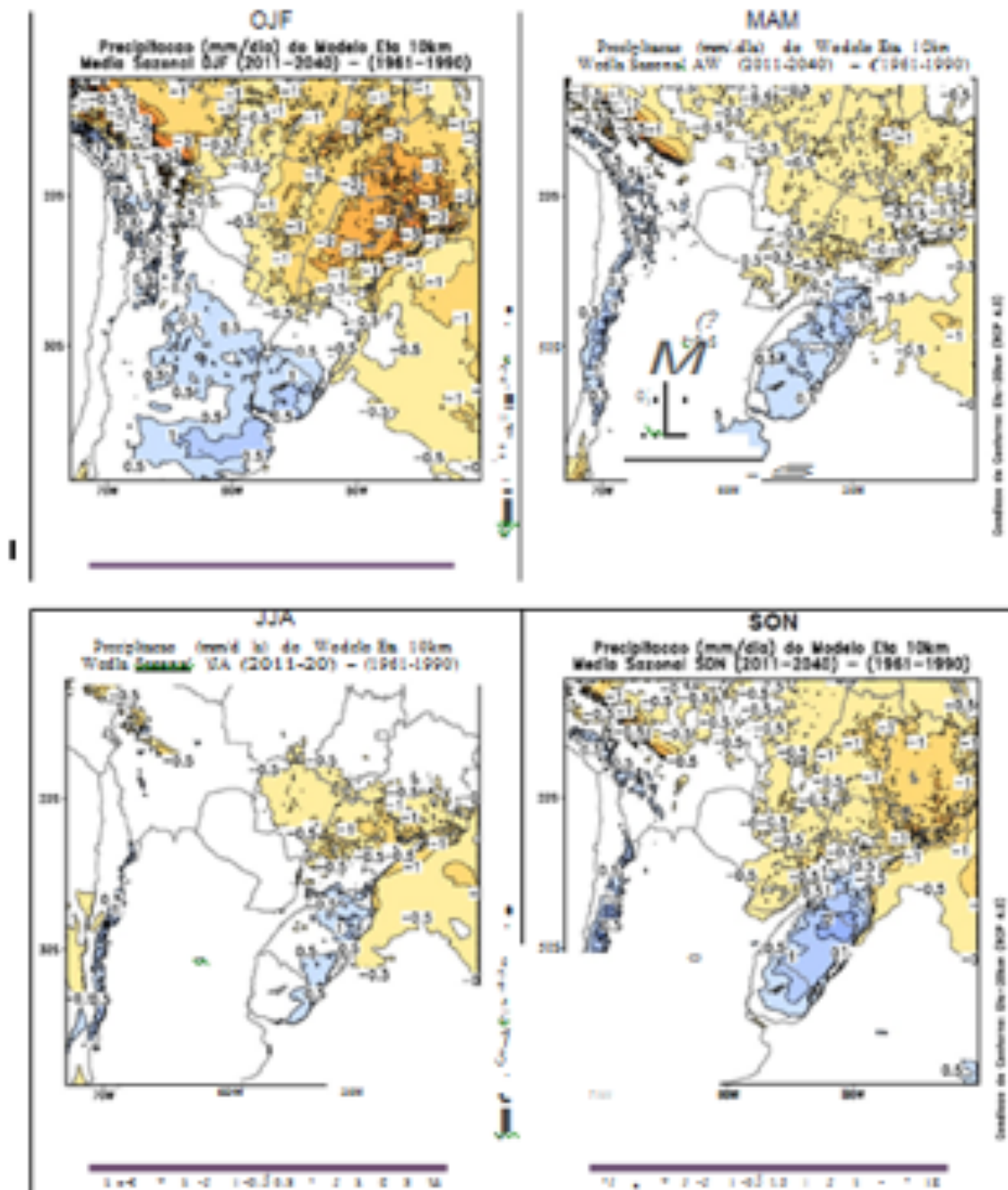


Figura A.2.2

Anomalía media de la precipitación estacional (mm/d) para el período 2041-2071, con respecto al período 1961-1990

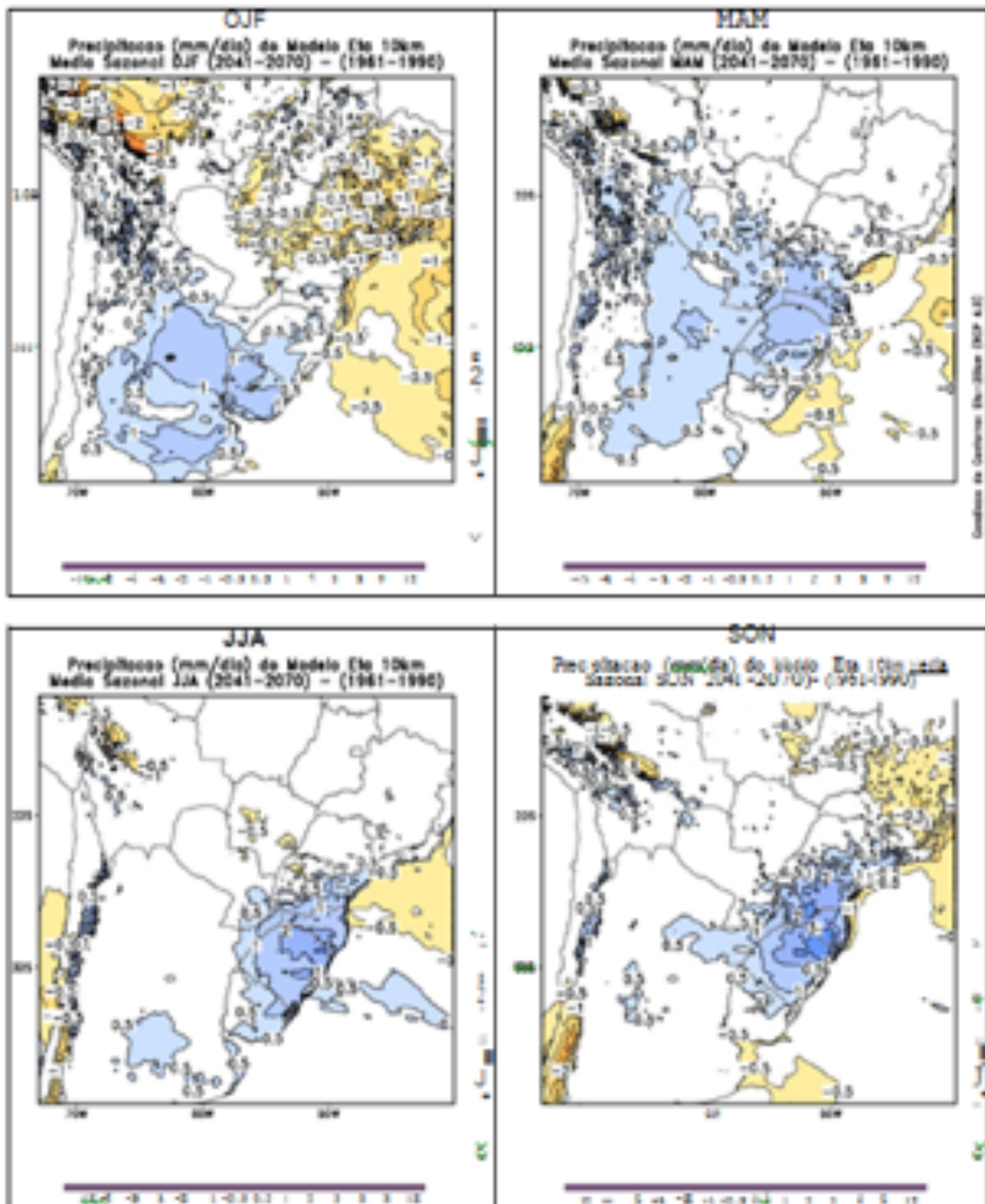
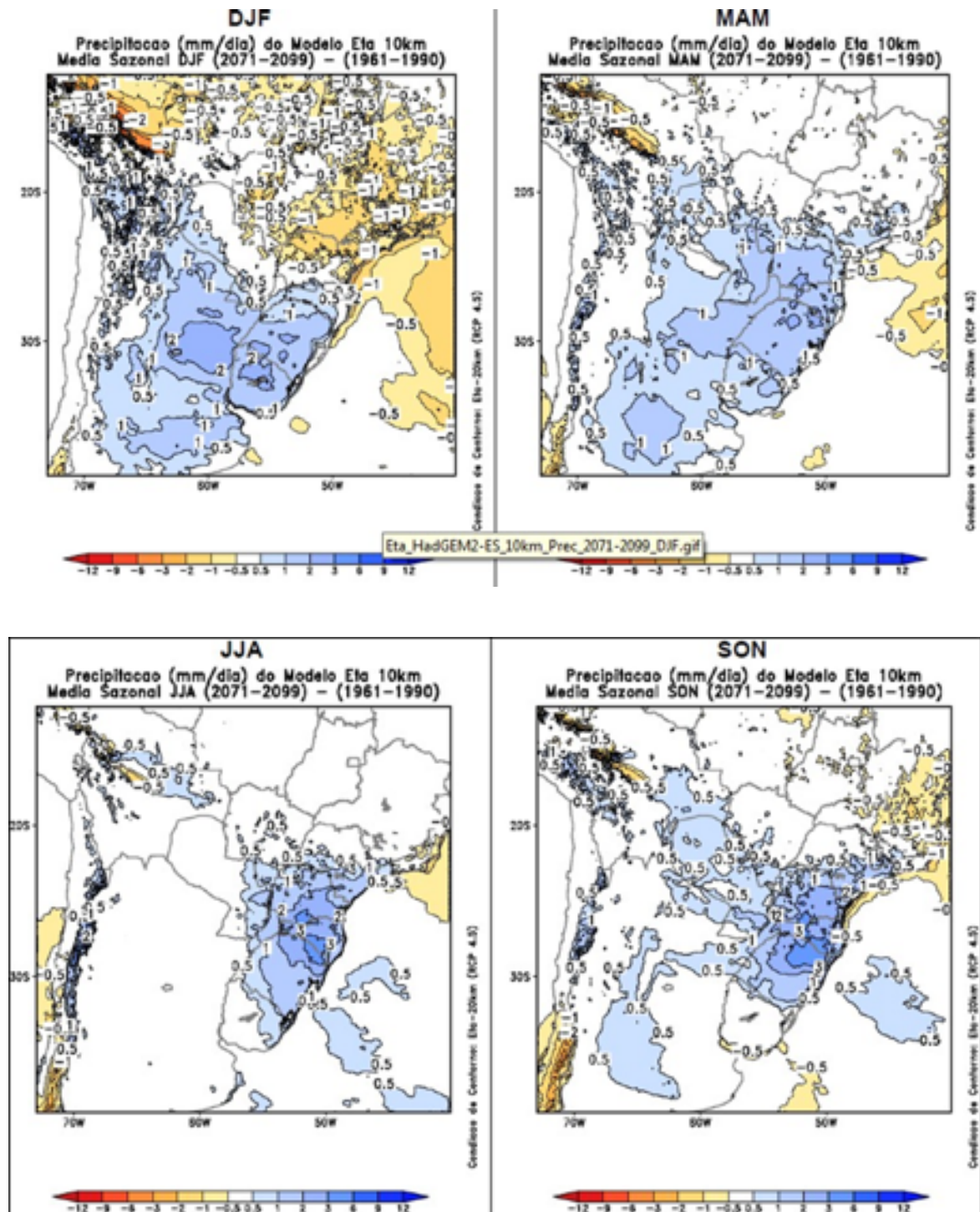


Figura A.2.3

Anomalía media de la precipitación estacional (mm/d) para el período 2071-2100, con respecto al período 1961-1990



Anexos

Anexo 3: Anomalía de la temperatura del aire (°C) 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100

Figura A.3.1

Anomalía media de la temperatura estacional (°C) para el período 2011-2041, con respecto al período 1961-1990

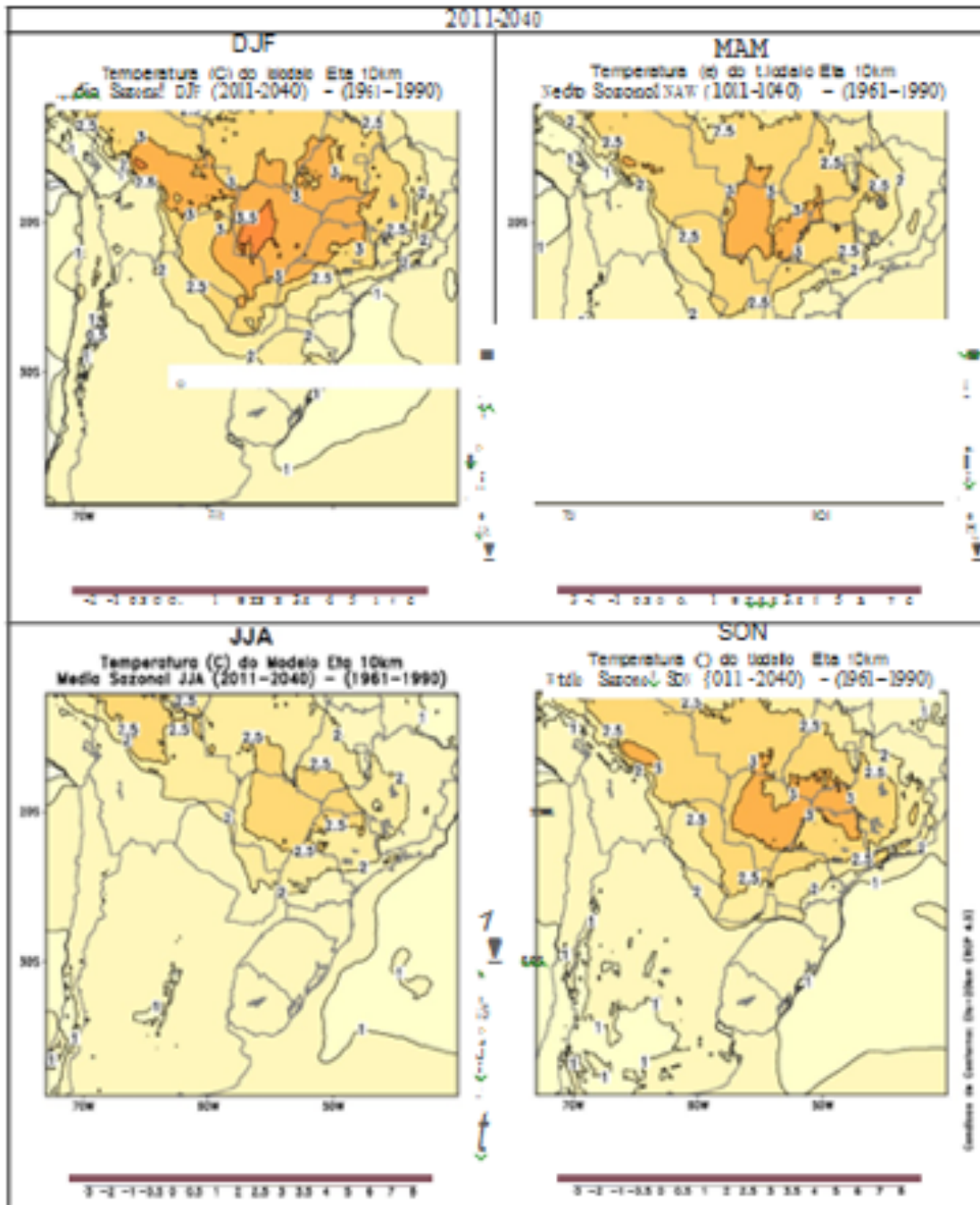


Figura A.3.2

Anomalía media de la temperatura estacional (°C) para el período 2041-2071, con respecto al período 1961-1990

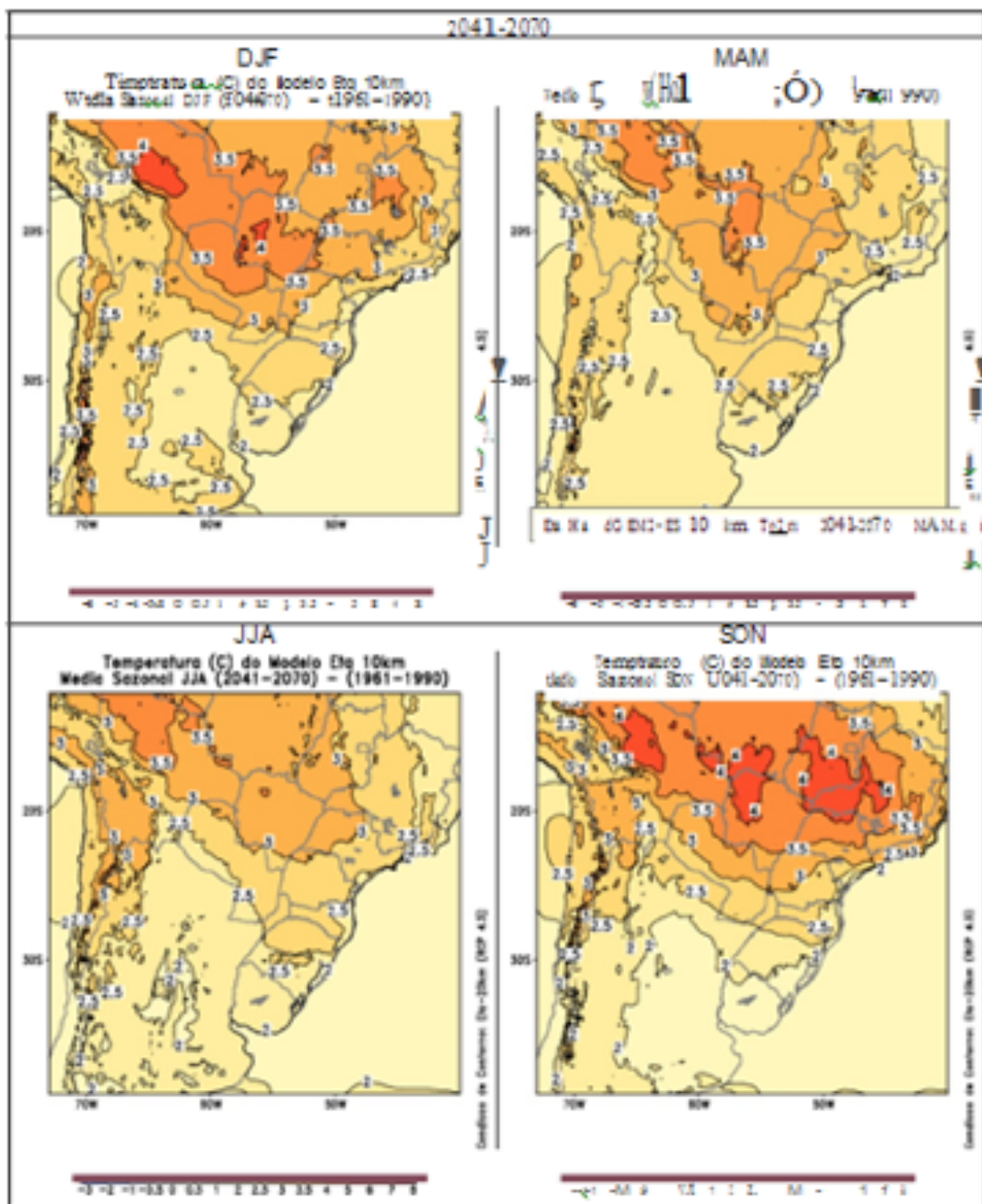
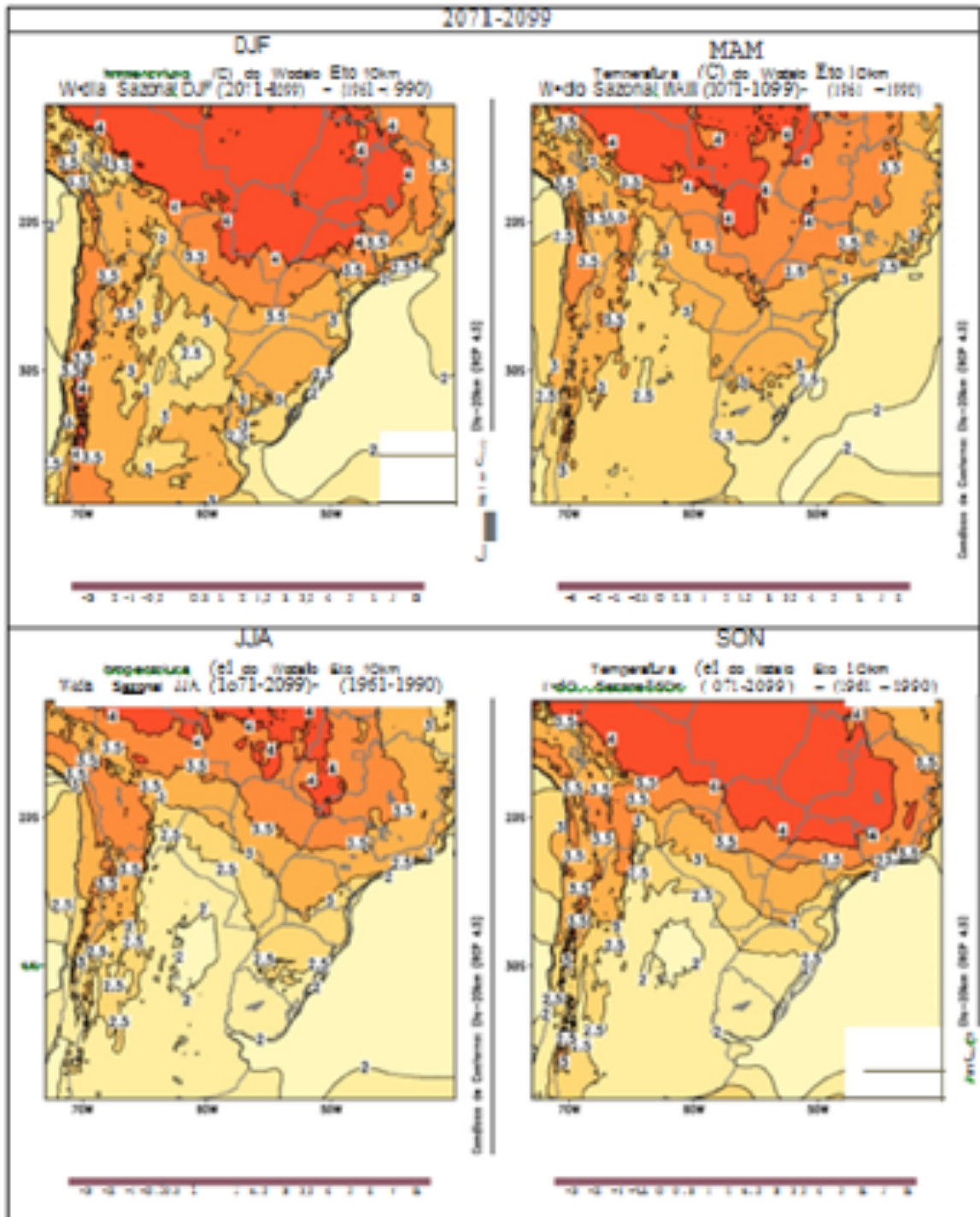


Figura A.3.3

Anomalía media de la temperatura estacional (°C) para el período 2071-2100, con respecto al período 1961-1990



Listado de figuras

Capítulo 2

- Figura 2.1.2.1 a** Densidad pluviométrica en la cuenca del río Paraguay
- Figura 2.1.2.1 b** Densidad pluviométrica en la cuenca del río Paraná
- Figura 2.1.2.1 c** Densidad pluviométrica en la cuenca del río Uruguay
- Figura 2.1.3.1** Distribución de radares del SINARAME
- Figura 2.1.3.2** Red de Radares Meteorológicos en funcionamiento en Brasil
- Figura 2.1.3.3** Radares meteorológicos en la Cuenca del Plata, mayo de 2014
- Figura 2.1.4.1** Imágenes del satélite geoestacionario GOES-13
- Figura 2.1.5.1** Ilustración de algunos de los múltiples sistemas de observación en uso en tierra, mar, atmósfera y desde el espacio para el monitoreo del tiempo, clima, agua y otras variables ambientales relativas a estos
- Figura 2.2.1.1** Precipitación acumulada durante la última década de enero 2015 (a) y en el mes completo (b) en la Cuenca del Plata. Las unidades están expresadas en milímetros
- Figura 2.2.1.2** Precipitación (mm) acumulada para la última década de enero 2015 (a) y su correspondiente anomalía (b) en la Cuenca del Plata
- Figura 2.2.1.3** Subcuencas de la Cuenca del Plata con disponibilidad de estimaciones de precipitación acumulada en 10 días y pronósticos para los seis días siguientes en base a estimación satelital
- Figura 2.2.1.4** Histogramas de precipitación acumulada en los últimos 10 días en el tramo medio de la cuenca del río Uruguay (a) y pronóstico de frecuencia relativa de ocurrencia de rangos de precipitación para los siguientes seis días en la misma cuenca (b)
- Figura 2.2.1.5** Descripción de la etapas de conforman el SIyAH.
- Figura 2.2.1.6** Sistema de Información y Alerta Hidrológico (SIyAH)
- Figura 2.2.1.7** Información diaria de alturas y caudales hidrométricos en el sector argentino de los ríos Iguazú, Paraguay, Paraná, Uruguay y delta del Paraná
- Figura 2.2.1.8** Pronóstico de altura del río Paraná en diferentes estaciones para horizontes temporales de cinco y 10 días
- Figura 2.2.1.9** Ejemplo de reporte de alturas del río Salado provisto por el Sistema de Alerta existente en la cuenca
- Figura 2.2.1.10** Esquema de funcionamiento del sistema de alerta temprana existente en la ciudad de Santa Fe
- Figura 2.2.2.1** Red de estaciones hidrométricas en Bolivia, parte de Cuenca del Plata
- Figura 2.2.2.2** Sistema Nacional de Alerta Temprana de desastres (SNATD)
- Figura 2.2.3.1** Análisis de precipitaciones por regiones
- Figura 2.2.3.2** Análisis de precipitaciones por regiones

- Figura 2.2.3.3 Análisis de precipitación en la subcuenca del Río Grande, en base a una cooperación interinstitucional
- Figura 2.2.3.4 Precipitación acumulada para uno, tres, cinco, 10 y 16 días
- Figura 2.2.3.5 Estaciones con tratamiento y previsión probabilística
- Figura 2.2.3.6 Caso concreto para la estación meteorológica Ivaí, Paraná
- Figura 2.2.3.7 Regiones hidrológicas de Brasil
- Figura 2.2.3.8 Análisis de precipitación, acumulado en 7 días (arriba), y su anomalía (abajo), Cuenca del Plata
- Figura 2.2.3.9 Lluvia diaria acumulada en 30 días en la cuenca alta del río Paraná en base a datos pluviométricos del CPC (NOAA)
- Figura 2.2.3.10 Lluvia total acumulada en 180 días en la Cuenca del Plata en base a datos pluviométricos del CPC (NOAA)
- Figura 2.2.4.1 Comportamiento diario del Río Paraguay en Asunción
- Figura 2.2.4.2 Altura hidrométrica diaria del Río Paraguay en Concepción, Paraguay
- Figura 2.2.4.3 Boletín de Perspectiva Climática e Hidrológica, septiembre de 2014
- Figura 2.2.5.1 Precipitación mensual acumulada (izquierda) y anomalía (derecha)
- Figura 2.2.5.2 Record estadístico de precipitaciones intensas por localidad
- Figura 2.2.5.3 Precipitación Acumulada y Desvíos para un trimestre
- Figura 2.2.5.4 Índice de bienestar hídrico:
- Figura 2.2.5.5 Nivel del río Yí en el Puente Nuevo, Durazno (izquierda) y curvas de inundación sobre foto aérea de la ciudad de Durazno (derecha)
- Figura 2.2.6.1 Conclusiones del «XXXVII Foro Climático Regional de Perspectiva Climática para el Sudeste de Sudamérica», 8-9 diciembre 2014, Montevideo, Uruguay
- Figura 2.2.6.2 Resultados de Foros Climáticos realizados recientemente en Argentina, Brasil y Paraguay
- Figura 2.2.6.3 Modelo estadístico de predicción climática del INMET, que produce pronósticos estacionales de precipitación total y temperatura media para todo Brasil.
- Figura 2.2.7.1 Dominio de los CRC en América del Sur, y b) presentación de CRC-SAS
- Figura 2.2.7.2 Red de estaciones meteorológicas del CRC-SAS
- Figura 2.2.7.3 Precipitación total acumulada (mm) y temperatura media mensual (°C), enero 2015 (arriba) y sus respectivas anomalías (abajo), productos disponibles en el CRC-SAS
- Figura 2.2.8.1 Ilustración esquemática de los cinco pilares del Marco y sus vínculos con las diversas comunidades de usuarios
- Figura 2.2.9.1 Salida del modelo regional COSMO 7 km.
- Figura 2.2.9.2 Salida del modelo regional Eta (11 d) 15X15 km, CPTEC Análisis inicializado en: 16/02/2015-00 UTC (Tiempo Universal Coordinado), válido para: 17/02/2015-00 UTC, variable: precipitación acumulada en 24 h (mm/d)
- Figura 2.2.9.3 Salida del modelo regional ETA 40 km

Capítulo 3

- Figura 3.1.1** Precipitación climatológica de la Cuenca del Plata (1973–2013)
- Figura 3.1.2** Modelo conceptual del Jet de Bajo Nivel al este de los Andes que transporta humedad desde el Amazonas (flecha azul) y desde el Océano Atlántico Subtropical (flecha verde).
- Figura 3.1.3** Caudales medios anuales del río Paraná en Corrientes (1904–2013) y del río Uruguay en Paso de los Libres (1909–2013)
- Figura 3.1.4** Diagrama de Hovmöller de precipitación (mm/d) sobre un área al norte de la Cuenca del Plata
- Figura 3.1.5** Temperatura media climatológica de la Cuenca del Plata y de sus respectivas subcuencas, período 1961–1990
- Figura 3.2.1** Anomalía de la temperatura global media en 2014. Se destaca el desvío entre +1°C a +2°C en la Cuenca del Plata
- Figura 3.2.2** Temperatura del aire media decadal (°C) en Asunción, Paraguay
- Figura 3.2.3** Anomalía de la temperatura media global (1850–2014)
- Figura 3.2.1.1** Comparación de cambio climático simulado en base a tres indicadores de gran escala: la alteración de la temperatura del aire en los continentes (amarillo), la extensión de hielo marino en los polos (blanco) y el contenido de calor en los océanos (azul). Las anomalías de la temperatura de superficie, la extensión del hielo marino y el contenido de calor en los océanos son relativas a 1880.1919, 1979–1999 y 1960–1980 respectivamente. Resultados obtenidos a partir del ensemble de varios modelos, con intervalos de confianza entre 5 a 95%.
- Figura 3.2.2.1** RF total (antropogénico más natural) para RCP y ECP (Extended Concentration Pathways), para RCP2.6, RCP4.5, RCP6 y RCP8.5, así como una extensión complementaria de RCP6 a RCP4.5 con un ajuste de emisiones después del 2100 para alcanzar el nivel de concentración de RCP4.5 en el 2250. Las variaciones de corto plazo de RF son debido a forzantes volcánicas del pasado (1800–2000) y al ciclo solar, asumiendo un ciclo solar constante de 11 años (siguiendo la recomendación de CMIP5), excepto en momentos de estabilización
- Figura 3.2.2.2** Climatología de la precipitación mensual media (mm/d) del ETA 10 km y del CRU para la Cuenca del Plata
- Figura 3.2.2.3** Climatología de la precipitación mensual media (mm/d), ETA 10 km (negro) y del CRU (verde) para el área 1 (alto Paraguay y alto Paraná)
- Figura 3.2.2.4** Proyecciones de la anomalía de la precipitación anual media (%) y la anomalía de la temperatura anual media (°C), para las tres décadas consideradas, para cada una de las subcuencas y para la Cuenca del Río de la Plata
- Figura 3.2.2.5** Evolución de la anomalía de la precipitación (mm/d) para el área de la Cuenca del Plata, según varios modelos
- Figura 3.2.2.6** Evolución de la anomalía de la temperatura del aire (°C) para el área de la Cuenca del Plata, según varios modelos
- Figura 3.3.1.1** Efectos de cambios en la distribución de la temperatura en los extremos. Diferentes cambios en la distribución de temperatura entre el clima presente y futuro y sus efectos en la distribución de valores extremos: (a) Efectos de un simple desplazamiento de la media hacia un clima más caliente; (b)

Efectos en el incremento en la variabilidad de la temperatura sin cambios en la media; c) Efectos en la alteración de la asimetría de la distribución, en este ejemplo un cambio en la asimetría hacia la parte más caliente de la distribución

- Figura 3.3.1.2** Anomalía de la precipitación total anual (arriba) y número de días con lluvia (abajo)
- Figura 3.3.1.3** Días secos consecutivos (arriba) y días húmedos consecutivos (abajo)
- Figura 3.3.1.4** Días con lluvia fuerte (arriba) y días con lluvia muy fuerte (abajo)
- Figura 3.3.1.5** Días calientes (arriba) y días fríos (abajo)

Anexo 1

- Figura A.1.1** Desvíos estacionales de la precipitación (mm/d) del modelo ETA-10 km respecto a los datos de base
- Figura A.1.2** Desvíos estacionales de la temperatura (°C) del modelo ETA-10 km respecto a los datos de base

Anexo 2

- Figura A.2.1** Anomalía media de la precipitación estacional (mm/d) para el período 2011-2041, con respecto al período 1961-1990
- Figura A.2.2** Anomalía media de la precipitación estacional (mm/d) para el período 2041-2071, con respecto al período 1961-1990
- Figura A.2.3** Anomalía media de la precipitación estacional (mm/d) para el período 2071-2100, con respecto al período 1961-1990

Anexo 3

- Figura A.3.1** Anomalía media de la temperatura estacional (°C) para el período 2011-2041, con respecto al período 1961-1990
- Figura A.3.2** Anomalía media de la temperatura estacional (°C) para el período 2041-2071, con respecto al período 1961-1990
- Figura A.3.3** Anomalía media de la temperatura estacional (°C) para el período 2071-2100, con respecto al período 1961-1990

Listado de tablas

Capítulo 2

- Tabla 2.2.7.1** Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur (CRC-SAS)

Capítulo 3

- Tabla 3.2.2.1** Resultados del modelo climático regional ETA 10 km para períodos climáticos futuros en relación al clima de 1961-1990

Listado de siglas y acrónimos

ADT	Análisis Diagnóstico Transfronterizo
ANA	Agencia Nacional de Aguas
ANAC	Administración Nacional de Aviación Civil
ANDE	Administración Nacional de Electricidad
ANNP	Administración Nacional de Navegación y Puertos
AOGCM	<i>Atmosphere–Ocean Global Climate Model</i> / Modelos Globales Acoplados Océano–Atmósfera
ARA	Armada de la República Argentina
AR-III	Asociación Regional III
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CCI	Comisión de Climatología
CEMADEN	<i>Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais</i> / Centro Nacional de Monitoreamiento y Alertas de Desastres Naturales
CENPAT	Centro Nacional Patagónico
CIC	Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata
CIMA	Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera
CMIP-5	Couple Model Intercomparasion Project Phase 5
CONICET	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
COP	Centro de Operaciones
CPC	<i>Climate Prediction Center</i>
CPTEC	Centro de Predicción de Tiempo y Estudios Climáticos
CRC	Centros Regionales del Clima
CRC-SAS	Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur
CRU	<i>Climatic Research Unit</i>
CSB	Comisión de Sistemas Básicos
CTM-SG	<i>Comisión Técnica Mixta de Salto Grande</i>
DAAE	<i>Departamento de Águas e Energia Elétrica</i> / Departamento de Aguas y Energía Eléctrica
DCAO	Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos
DECEA	Departamento de Control del Espacio Aéreo
DINAC	Dirección Nacional de Aeronáutica Civil
DINAGUA	Dirección Nacional de Aguas
DMH	Dirección de Meteorología e Hidrología
DNVN	Dirección Nacional de Vías Navegables

EBY	Entidad Binacional Yacyretá
ECP	<i>Extended Concentration Pathways</i>
ENSO	<i>El Niño–Southern Oscillation</i>
ETA	COMPLETAR
FAMAF	Facultad de Matemática, Astronomía y Física
FECOPROD	Federación de Cooperativas de la Producción
GAW	COMPLETAR
GCM	Modelos Globales Atmosféricos
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GOS	<i>Global Observation System</i>
GPCP	<i>Global Precipitation Climatology Project</i>
GT	Grupos Temáticos
IB	Itaipú Binacional
IGAM	Instituto Mineiro de Gestión de Aguas
INA	Instituto Nacional del Agua
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
INMET	Instituto Nacional de Meteorología
INPE	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>
INTA	Instituto de Tecnología Agropecuaria
INUMET	Instituto Uruguayo de Meteorología
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
IPTA	Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria
IR	Infrarrojo
JAXA	<i>Japan Aerospace Exploration Agency</i>
LEAS	Leading Environmental Analysis and Display System
MCG	Modelo Climático Global
MCTI	<i>Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação</i>
MMSC	Marco Mundial para los Servicios Climáticos
MW	Microondas pasivas
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ORSTOM	Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación
PAE	Programa de Acciones Estratégicas
PM	Programa Marco
RCM	<i>Regional Climatic Models</i>

RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
RF	<i>Forzante Radiativa</i>
RM	Radar Meteorológico
RMA	Radares Meteorológicos Argentinos
SALLJ	Jet de Bajo Nivel de Sudamérica
SAT	Sistema de Alerta Temprana
SCM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
SEN	Secretaría de Emergencia Nacional
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SIMEPAR	Sistema Meteorológico de Paraná
SINAE	Sistema Nacional de Emergencia
SINARAME	Sistema Nacional de Radares Meteorológicos
SIO	Sistema de Información de la OMM
SlyAH	Sistema de Información y Alerta Hidrológico
SMHN	Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SNATD	Sistema Nacional de Alerta Temprana de Desastres
SNIRH	Sistema Nacional de Informaciones sobre los Recursos Hídricos
SSRH	Subsecretaría de Recursos Hídricos
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
UBA	Universidad de Buenos Aires
Udelar	Universidad de la República
UNA	Universidad Nacional de Asunción
UNESP	Universidad Estatal Paulista «Júlio de Mesquita Filho»
UTC	Tiempo Universal Coordinado
UTE	Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas
VIS	Imágenes en banda visible
WHYCOS	<i>World Hydrological Cycle Observing System</i>
WIGOS	World Meteorological Organization Integrated Global Observing System
ZCAS	Zona de Convergencia del Atlántico Sur

Referencias Institucionales

Representantes de los países en el Consejo Director del Programa Marco

Representante Político	Representante Técnico	Segundo Representante Técnico
Argentina		
Titulares		
Embajador Natalio Marcelo Jamer (2016)	Pablo Bereciartua (2016)	Osvaldo Fernandez (2016)
Embajadora Mónica Rosa Troadello (2011-2015)	Edgardo Bortolozzi (2012-2015)	Roberto Adaro (2015, 2013 y 2012)
	Fabián López (2011)	Julio Nasser (2014)
		Miguel Gomez (2011)
Alternos		
Ministro Eugenio Garcia Santos (2012-2016)	Marcelo Gaviño Novillo (2016)	Miguel Gomez (2014)
	Andrés Rodríguez (2011-2015)	
Bolivia		
Titulares		
Embajador Juan Carlos Alurralde (2013-2016)	Carlos Ortuño (2014-2016)	Oscar Cespedes Montaña (2014-2016)
Embajador Pablo Guzman Lougier (2011-2013)	Luis Marka Saravia (2012-2013)	
Alternos		
Juan Carlos Segurola Tapia (2014-2016)	Oscar Céspedes (2014-2016)	
Mayra Montero Castillo (2011-2016)		
Clarems Endara Vera (2011)		
Brasil		
Titulares		
Embajadora Eugenia Barthelmess (2015-2016)	Julio Thadeu Silva Kettelhut (2011-2016)	
Embajador João Luiz Pereira Pinto (2011-2013)		

Representante Político	Representante Técnico	Segundo Representante Técnico
------------------------	-----------------------	-------------------------------

Brasil		
---------------	--	--

Alternos		
-----------------	--	--

Ministra Consejera Gisela Padovan (2013-2016) Primer Secretario Rodrigo de Macedo Pinto (2016) Segundo Secretario Joaquim Araújo (2016) Secretario Filipe Lopes (2014-2015) Secretario Felipe Antunes (2014-2015) Ministro Philip Fox-Drummond Gough (2013) Segunda Secretaria Patricia Soares (2011)		
--	--	--

Paraguay		
-----------------	--	--

Titulares		
------------------	--	--

Embajador Didier Olmedo (2014-2016)	David Fariña (2014-2016)	
Embajador Luis Fernando Avalos (2012-2014)	Sofía Vera (2013-2014)	
Embajador Gabriel Enciso Lopez (2011)	Daniel González (2013)	
	Silvia Spinzi (2012)	
	Daniel Garcia (2011-2012)	

Alternos		
-----------------	--	--

Primer Secretario Blas Felip (2013-2016)		Rafael Gonzalez (2011)
Ministro Miguel Lopez Arzamendia (2012)		
Consejero Alfredo Nuñez (2011-2012)		
Primera Secretaria Eliana Abigail Vergara (2011-2013)		

Uruguay		
----------------	--	--

Titulares		
------------------	--	--

Martín Vidal (2016)	Daniel Greif (2015-2016)	Alejandro Nario (2015-2016)
Ministro Juan Remedi (2011-2015)	Daniel Gonzalez (2012-2013)	Jorge Rucks (2011-2015)
	José Luis Genta (2011)	

Alternos		
-----------------	--	--

Javier Vidal (2016)	Silvana Alcoz (2015-2016)	
------------------------	------------------------------	--

Unidades Nacionales del Programa Marco

Coordinadores Nacionales

Argentina	Bolivia	Brasil	Paraguay	Uruguay
Titulares				
Miguel A. Giraut (2011-2016)	Mayra Montero Castillo (2011-2016)	Julio Thadeu Silva Kettelhut (2011-2016)	David Fariña (2014-2016) Sofia Vera (2013-2014) Daniel Gonzalez (2013) Silvia Spinzi (2012) Daniel Garcia (2011-2012)	Silvana Alcoz (2011-2016)

Asistentes de Coordinadores Nacionales

Argentina	Bolivia	Brasil	Paraguay	Uruguay
Susana Minatti (2011-2016)		Aureliano Cesar (2011-2016)	Julieta Gauto (2011-2016)	Ana Laura Martino (2011-2016)

Unidades Nacionales del Programa Marco

Grupos Temáticos del Programa Marco

Argentina*	Bolivia	Brasil	Paraguay	Uruguay
Marco Legal e Institucional				
Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto (Mónica Troadello, Natalio Marcelo Jamer)	Ministerio de Relaciones Exteriores (Juan Carlos Alurralde, Pablo Guzmán Lougier, Mayra Montero Castillo)	Ministerio de Relaciones Exteriores (Eugenia Barthelmess, Joa Luíz Pereira Pinto); Ministerio do Medio Ambiente/ Secretaría de Recursos Hídricos y Ambiente Urbano (Julio Thadeu Silva Kettelhut)	Ministerio de Relaciones Exteriores (Didier Olmedo, Luis Fernando Avalos, Blas Felip)	Ministerio de Relaciones Exteriores (Juan Antonio Remedi)
Sistema Soporte para la Toma de Decisiones				
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (Federico Scuka, Carla Lupano)	Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Lizet Sullcata)	Agencia Nacional de Aguas (Sergio Barbosa)	Secretaría del Ambiente (Julián Cáceres); Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción (Federico Ferreira, Nestor Cabral)	Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (Virginia Fernández); Instituto Uruguayo Meteorología (INUMET) (Víctor Marabotto); Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTM-SG) (Ignacio Corrales)
Participación Pública, Comunicación y Educación				
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (Silvia Freiler, Daniela García)	Ministerio de Relaciones Exteriores (María del Sagrario Urgel Aguilar, Consuelo Ponce) Ministerio de Educación	Ministerio de Medio Ambiente/ Secretaría de Recursos Hídricos y Ambiente Urbano (Franklin de Paula Júnior)	Universidad Nacional de Pilar (Ernilda Vera); Secretaría de la Información y Comunicación (César Palacios); Secretaría del Ambiente (Maria Coronel)	MVOTMA (Luján Jara); Ana Laura Martino; Ministerio de Educación y Cultura (Laura Barcia); Secretaría Comunicación Presidencia (Carolina Echavarría)
Balance Hídrico Integrado				
Instituto Nacional del Agua/Centro Regional Litoral (Carlos Paoli)	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Luis Noriega)	Instituto de Investigaciones Hidráulicas (André Silveira, Walter Collischonn)	Secretaría del Ambiente (Andrés Wehrle); Universidad Nacional de Asunción (Juan Pablo Nogués); Itaipú Binacional (Pedro Domaniczky)	Universidad de la República (UDELAR) (Luis Silveira, Christian Chreties, Magdalena Crisci, Jimena Alonso); UDELAR-Regional Norte (Pablo Gamazo); CTM-SG (Nicolás Failache); MVOTMA (Rodolfo Chao)

*Consejo Hídrico Federal Argentina (2011– 2016).

Dirección de Hidráulica de Entre Ríos (Oscar Duarte). Instituto Correntino del Agua y del Ambiente (Mario Rujana).

Grupos Temáticos del Programa Marco

Argentina	Bolivia	Brasil	Paraguay	Uruguay
Cantidad y Calidad de Agua				
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (Marina Jakomin)	Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Geovana Rocabado)	Agencia Nacional de Aguas (Maurrem Ramon Vieira)	Universidad Nacional de Asunción (Inocencia Peralta); Secretaria del Ambiente (Sofía Vera, Aida Olavarrieta)	MVOTMA (Luis Reolón)
Aguas Subterráneas				
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (Jorge Santa Cruz, Lida Borello)	Servicio Geológico Minero (Jorge Bellot)	Departamento de Aguas y Energía Eléctrica (Gerôncio Rocha); Servicio Geológico de Brasil (João Alberto Diniz, Fernando Feitosa, Roberto Kircheim)	Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción (Andrés Wehrle); Secretaria del Ambiente (Daniel García Segredo)	MVOTMA (Lourdes Batista, Ximena Lacués); CEREGAS (Alberto Manganelli) Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) (Enrique Massa, Javier Techera); Obras Sanitarias del Estado (OSE) (Pablo Decoud, Andrés Pérez)
Ecosistemas Acuáticos y Asociados				
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (Sara Sverlij); Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (Laura Pertusi)	Dirección General de Biodiversidad y Áreas Protegidas (Sharbel Gutierrez)	Universidad Estadual Paulista (Marcos Nogueira, Danilo Naliato)	Secretaría del Ambiente (Mirta Medina, Nora Neris, Reinilda Duré)	MVOTMA (Guillermo Scarlato); Ana Laura Martino; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (Alfredo Pereira); UDELAR (Alejandro Brazeiro)
Degradación de la Tierra				
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (José Cuevas; Pablo Viegas Aurelio)	Ministerio de Desarrollo Rural y Tierra	Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Celso Vainer Manzatto)	Secretaría del Ambiente (David Fariña, José Silvero)	Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca MGAP (Carlos Clerici); Facultad de Agronomía de la Universidad de la República - UDELAR (Mario Pérez Bidegain, Fernando García Prechac)
Oportunidades para el Desarrollo				
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (Martín Reymúndez)	Ministerio de Relaciones Exteriores	Ministerio de Transportes (Luiz Eduardo García)	Secretaría Nacional de Turismo (Antonio Van Humbeeck)	Ministerio de Turismo (Marcelo Canteiro)

Unidades Nacionales del Programa Marco

Grupos Temáticos del Programa Marco (continuación)

Argentina	Bolivia	Brasil	Paraguay	Uruguay
PPD Biodiversidad				
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (Laura Pertusi); Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (Sara Sverlij)	Ministerio de Medio Ambiente y Agua	Universidad Estadual Paulista (Marcos Nogueira); Itaipú Binacional (Carla Canzi)	Secretaría del Ambiente (Darío Mandelburger)	
PPD Confluencia				
Administración Provincial del Agua del Chaco (Patricia Parini)		Itaipú Binacional (Jair Kotz, Carla Canzi)	Entidad Binacional Yacyretá (Lucas Chamorro)	
PPD Cuareim				
		Comité de las Aguas Estadales de la cuenca del río Quaraí (Ivo Lima Wagner); Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio Grande do Sul; Departamento de Recursos Hídricos (Fernando Meirelles)		Referente Local (Laura Marcelino); Comisión Cuenca Río Cuareim; MVOTMA (Silvana Alcoz); Ana Laura Martino
PPD Pilcomayo				
Unidad Provincial Coordinadora del Agua de Formosa (Horacio Zambón); Secretaría de Recursos Hídricos de Salta (Alfredo Fuertes)	Ministerio de Relaciones Exteriores (Juan Carlos Seguro, Mayra Montero Castillo); Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Oscar Céspedes)		Secretaría del Ambiente (Rosa Morel, Daniel García)	
Escenarios Hidroclimáticos				
Instituto Nacional del Agua (Dora Goniadzki)	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Gualberto Carrasco)	Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (Gilvan Sampaio de Oliveira)	Dirección de Meteorología e Hidrología (Julián Baez); Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción (Benjamín Grassi)	UDELAR (Rafael Terra, Gabriel Cazes, Marcelo Barrero); INUMET (Mario Bidegain)

Grupos Temáticos del Programa Marco

Argentina	Bolivia	Brasil	Paraguay	Uruguay
Monitoreo y Alerta				
Instituto Nacional del Agua (Juan Borús)	Servicio Nacional de Hidrografía Naval (Luis Miguel Carrasco)	Agencia Nacional de Aguas (Valdemar S. Guimarães, Augusto Bragança)	Entidad Binacional Yacyretá (Lucas Chamorro); Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción (Cristián Escobar)	UDELAR (Luis Silveira, Jimena Alonso); MVOTMA (Luis Reolón, Gabriel Yorda, Javier Martínez, Juan Carlos Giacri, Adriana Piperno) CECOED Artigas (Juan José Eguillor)
Radars				
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (Juan Carlos Bertoni, Carlos Lacunza)	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Gualberto Carrasco)	Centro Nacional de Monitoreo y Alertas de Desastres Naturales (Carlos Frederico de Angelis)	Dirección de Meteorología e Hidrología (Julián Baez)	UDELAR (Gabriel Cazes); INUMET (Daniel Bonora, Néstor Santayana); CTM-SG (Juan Badagian)
Modelos de Grandes Cuencas				
Instituto Nacional del Agua (Juan Borús)	Servicio Nacional de Hidrografía Naval (Luis Miguel Carrasco)	Instituto de Investigaciones Hidráulicas (Walter Collischonn)	Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción (Cristián Escobar, Pedro Takahashi)	UDELAR (Christian Chreties)



**FONDO PARA EL MEDIO
AMBIENTE MUNDIAL - FMAM**
GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY - GEF

El FMAM promueve la cooperación internacional y fomenta medidas encaminadas a proteger el medio ambiente de nuestro planeta. Desde su creación, se ha convertido en un agente catalizador y fuente de financiamiento para considerar en forma integrada problemas ambientales mundiales en el proceso de desarrollo, lo que resulta decisivo para conseguir un equilibrio sostenible entre el hombre y la naturaleza. Aportó los fondos no reembolsables con los que se financió el Programa Marco.



**PROGRAMA DE NACIONES
UNIDAS PARA EL MEDIO
AMBIENTE**
UNITED NATIONS ENVIRONMENT
PROGRAMME - UN ENVIRONMENT

El Programa dirige y alienta la participación en el cuidado del medio ambiente, inspirando, informando y dando a las naciones y a los pueblos los medios para mejorar su capacidad de vida sin poner en peligro a las futuras generaciones. En la estructura organizativa del Programa Marco ha sido la agencia de implementación del GEF, habiendo sido su objetivo asegurar que el mismo se ejecutara para el beneficio del medio ambiente global. Miembro del Consejo Director del Proyecto.



**ORGANIZACIÓN DE LOS
ESTADOS AMERICANOS - OEA**
ORGANIZATION OF
AMERICAN STATES - OAS

La OEA ha mantenido una histórica relación de cooperación técnica con la Cuenca del Plata y con el CIC en temas relativos al desarrollo sostenible, a los recursos naturales y a la gestión de los recursos hídricos. Para la preparación del Programa Marco de la Cuenca del Plata fue la organización regional seleccionada, tanto por el PNUMA como por el CIC, como agencia ejecutora, responsable técnica y administrativa de los fondos FMAM. Miembro del Consejo Director del Proyecto.

Programa Marco

FMAM - GEF

Christian Severin
Especialista Principal en Medio Ambiente

UN ENVIRONMENT

Isabelle Van Der Beck
Gerente de Programa

OEA - OAS

Cletus Springer
Director del Departamento
de Desarrollo Sostenible (DDS)

Maximiliano Campos
Jefe Sección II, Gestión Integrada
de Recursos Hídricos

Enrique Bello
Jefe Unidad Técnica Administrativa
SG/OEA Argentina

DIRECTOR DE PROYECTO

Miguel Ángel López Arzamendia (2010-2011)
José Luis Genta (2011-2015)
Alejandro Peyrou (2015-2016)

COORDINADORA TÉCNICA INTERNACIONAL

Silvia Rafaelli (2011-2016)

COORDINADORA TÉCNICA ADJUNTA

Elena Benitez Alonso (2011-2013)
Ana Maria Castillo Clerici (2013-2016)

ASISTENTES TÉCNICOS

Ignacio Masson (2011-2014)
Julia Lacal Bereslawski (2011-2016)
Eduardo Roude (2011-2016)
Valeria Rodríguez Brondo (2011-2014)
Fabián Riveros (2011-2012)
Romina Morbelli (2013-2016)
Marta Ayala (2014-2016)
Martín Ribeiros (2014)
Roberto Montes (2015)

SECRETARIAS

Aliene Zardo Ferreira (2011)
Danielle Carvalho (2011-2012)
Lourdes Martins (2012-2015)
María Paula Giorgieri (2015-2016)

Publicaciones del Programa Marco

Documentos principales

Versiones en español, portugués e inglés



Análisis Diagnóstico Transfronterizo de la Cuenca del Plata ADT



Programa de Acciones Estratégicas de la Cuenca del Plata PAE



Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT) y Programa de Acciones Estratégicas (PAE)
Síntesis ejecutiva



Programa Marco de la Cuenca del Plata
Proceso de ejecución y principales resultados

Documentos temáticos



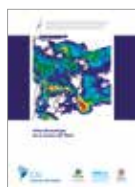
Sistema soporte para la toma de decisiones de la Cuenca del Plata



Marco institucional y legal para la gestión integrada de los recursos hídricos en la Cuenca del Plata



Participación pública, comunicación y educación
Proyectos del Fondo de Participación Pública
Réplica del Programa Cultivando Agua Buena



Hidroclimatología de la Cuenca del Plata



Balance hídrico en la Cuenca del Plata
Disponibilidad y usos, considerando escenarios futuros
Modelos de gestión



**Calidad del agua
en la Cuenca del Plata**



**Aguas subterráneas
en la Cuenca del Plata**



**Ecosistemas acuáticos
en la Cuenca del Plata**



**Inventario de Regiones
de Humedales de
la Cuenca del Plata**



**Degradación de tierras
en la Cuenca del Plata**



**Selva Misionera
Paranaense**



**Hidroelectricidad
y navegación en
la Cuenca del Plata**



**Tecnologías limpias
y ecoturismo
en la Cuenca del Plata**



**Buenas prácticas
en el uso del suelo
en la Cuenca del Plata**



**Boas práticas
para o cultivo do arroz
na Bacia do Prata**



**Proyecto Piloto Demostrativo
Conservación de la biodiversidad
íctica en una zona regulada
del río Paraná**



**Proyecto Piloto Demostrativo
Resolución de conflictos por
el uso del agua en la cuenca
del río Cuareim/Quaraí**



**Proyecto Piloto Demostrativo
Sistema de alerta hidroambiental
en la confluencia de los ríos
Paraguay y Paraná**



**Proyecto Piloto Demostrativo
Control de contaminación
y erosión en el río Pilcomayo**



Programa Marco para la gestión sostenible de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el cambio climático
Programa Marco para gestão sustentável dos recursos hídricos da Bacia do Prata, considerando os efeitos decorrentes da variabilidade e mudanças do clima

ISBN 978-987-4187-08-6



9 789874 187086

