

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 SUSTENTAVEL DOS RECURSOS HIDRÍCOS DA BACIA DO PRATA, CONSIDERANDO OS EFEITOS DECORRENTES DA VARIABILIDADE E MUDANÇAS DO CLIMA



## ANÁLISIS DIAGÓSTICO TRANSFRONTERIZO (ADT) DE LA CUENCA DEL PLATA

### Documento 4: ADT Hidroclimatología

**Benjamín Grassi (Coordinador)**

**Inés Camilloni**

**Marcos Sanches**

**Ignacio Lorenzo**

**Versión Final**

**18 de Agosto de 2015**

# ADT HIDROCLIMATOLOGÍA

## INFORME FINAL

### Índice

1.	<b>Resumen.....</b>	8
2.	<b>Introducción.....</b>	8
3.	<b>Objetivo General.....</b>	8
4.	<b>Objetivos Específicos.....</b>	9
5.	<b>Metodología.....</b>	9
6.	<b>Sistemas de Monitoreo, Alerta y Predicción Hidroclimática.....</b>	10
6.1.	<b>Sistemas de Monitoreo Hidrometeorológico.....</b>	10
6.1.1.	<b>Observaciones Meteorológicas.....</b>	10
6.1.2.	<b>Observaciones Hidrológicas.....</b>	11
6.1.3.	<b>Radares Meteorológicos en la Cuenca del Plata.....</b>	13
6.1.4.	<b>Satélites Meteorológicos.....</b>	19
6.1.5.	<b>WIGOS.....</b>	21
6.2.	<b>Sistemas de Alerta y Predicción Hidroclimática.....</b>	22
6.2.1.	<b>Argentina.....</b>	22
6.2.2.	<b>Bolivia.....</b>	32
6.2.3.	<b>Brasil.....</b>	34
6.2.4.	<b>Paraguay.....</b>	41

6.2.5. Uruguay.....	44
6.2.6. Foros Climáticos Regionales.....	47
6.2.7. Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur (CRC-SAS)....	50
6.2.8. Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC).....	53
6.2.9. Predicción Numérica.....	55
 7.    Variabilidad y Cambio Climático.....	58
7.1    Variabilidad Climática.....	58
7.2    Cambio Climático.....	63
7.2.1    Escenarios de Cambio Climático.....	67
7.2.2    Síntesis de los Resultados del ETA en la Cuenca del Plata.....	68
7.2.3.    Breve discusión del clima cercano 2011-2040.....	75
7.3    Extremos climáticos.....	76
7.3.1.    Definiendo extremos climáticos.....	76
7.3.2.    Consecuencias de extremos climáticos.....	80
 8.    Conclusiones y recomendaciones.....	82
 9.    Glosario de términos.....	84
 10.    Siglas.....	87
 11.    Referencias.....	89
 12.    Anexos.....	92

## Figuras

- Figura 1a. Densidad pluviométrica en la Cuenca del Río Paraguay
- Figura 1b. Densidad pluviométrica en la Cuenca del Río Paraná
- Figura 1c. Densidad pluviométrica en la Cuenca del Río Uruguay
- Figura 2. Distribución de radares del SINARAME
- Figura 3. Red de Radares Meteorológicos en funcionamiento en Brasil
- Figura 4. Radares Meteorológicos en la Cuenca del Plata, Mayo 2014, SIMEPAR
- Figura 5. Imágenes del satélite Geoestacionario GOES-13
- Figura 6. 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 los mismos.
- Figura 7. Precipitación acumulada durante la última década de enero 2015 (a) y en el mes completo (b) en la Cuenca del Plata. Unidades: milímetros. Fuente: SMN
- Figura 8. Precipitación (mm) acumulada para la última década de enero 2015 (a) y su correspondiente anomalía (b) en la Cuenca del Plata. Fuente: SMN
- Figura 9. Precipitación (mm), acumulada durante enero 2015 (a) y su correspondiente anomalía (b) en la Cuenca del Plata.
- Figura 10. Subcuencas de la Cuenca del Plata con disponibilidad de estimaciones de precipitación acumulada en 10 días y pronósticos para los 6 días siguientes en base a estimación satelital.
- Figura 11. 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 a 6 días en la misma cuenca (b).
- Figura 12. Descripción de las etapas que conforman el SlyAH
- Figura 13. Sistema de Información y Alerta Hidrológico (SlyAH), INA
- Figura 14. Información diaria de alturas y caudales hidrométricos en el sector argentino de los ríos Iguazú, Paraguay, Paraná, Uruguay y Delta del Paraná. Fuente: SlyAH
- Figura 15. Pronóstico de altura del río Paraná en diferentes estaciones para horizontes temporales de 5 y 10 días. Fuente: SlyAH
- Figura 16. Ejemplo de reporte de alturas del río Salado provisto por el Sistema de Alerta existente en la cuenca. Fuente: IDESF
- Figura 17. Esquema de funcionamiento del sistema de alerta temprana existente en la ciudad de Santa Fe.
- Figura 18. Red de estaciones hidrométricas en Bolivia, parte de Cuenca del Plata

- Figura 19. Sistema Nacional de Alerta Temprana de desastres (SNATD)
- Figura 20a. Análisis de precipitaciones por regiones, CPTEC
- Figura 20b. Análisis de precipitación por regiones, CPTEC
- Figura 21. Análisis de precipitación en la subcuenca del Río Grande, en base a una cooperación interinstitucional
- Figura 22. Precipitación acumulada para 1, 3, 5, 10 y 16 días
- Figura 23. Estaciones con tratamiento y previsión probabilística
- Figura 24. Caso concreto para la estación meteorológica Ivaí, Paraná
- Figura 25. Regiones hidrológicas de Brasil, ANA
- Figura 26. Análisis de precipitación, acumulado en 7 días (arriba), y su anomalía (abajo), Cuenca del Plata, CPC-ANA
- Figura 27. Lluvia diaria acumulada en 30 días en la Cuenca Alta del Río Paraná en base a datos pluviométricos CPC, NOAA.
- Figura 28. Lluvia total acumulada en 180 días en la Cuenca del Plata en base a datos pluviométricos CPC, NOAA.
- Figura 29. Comportamiento diario del Río Paraguay en Asunción, DINAC, 2015
- Figura 30. Altura hidrométrica diaria del Río Paraguay en Concepción, Paraguay, ANNP
- Figura 31. Boletín de Perspectiva Climática e Hidrológica, Set 2014, ANNP-DINAC
- Figura 32. Precipitación mensual acumulada (izq.) y anomalía (der.), INUMET, 2015
- Figura 33. Record estadístico de precipitaciones intensas por localidad
- Figura 34. Precipitación Acumulada y Desvíos para un trimestre, INIA, 2015
- Figura 35. Índice de bienestar hídrico
- Figura 36. Nivel del Río Yí en el Puente Nuevo, Durazno (izq) y Curvas de inundación sobre foto aérea de la Ciudad de Durazno (der), Udelar 2014
- Figura 37. Conclusiones del “XXXVII Foro Climático Regional de Perspectiva Climática para el Sudeste de Sudamérica”, 8-9 diciembre 2014, Montevideo, Uruguay.
- Figura 38. Resultados de Foros Climáticos realizados recientemente en Argentina, Brasil y Paraguay.
- Figura 39. Modelo estadístico de Predicción Climática del INMET, que produce pronósticos estacionales de precipitación total y temperatura media para todo el Brasil.
- Figura 40. a) Dominio de los CRC en America del Sur, y b) presentación de CRC-SAS
- Figura 41. Red de estaciones meteorológicas del CRC-SAS
- Figura 42. Precipitación total acumulada (mm) y temperatura media mensual (°C), Enero 2015 (arriba) y sus respectivas anomalías (abajo), productos disponibles en el CRC-SAS.

Figura 43. Ilustración esquemática de los cinco pilares del Marco y sus vínculos con las diversas comunidades de usuarios (OMM, 2014).

Figura 44. Salida del modelo regional COSMO 7km, INMET

Figura 45. Salida del modelo regional Eta (11 d) 15X15km, CPTEC Análisis inicializado en: 16/02/2015-00 UTC Válido para: 17/02/2015-00 UTC Variable: Precipitación acumulada en 24h (mm/d)

Figura 46. Salida del modelo regional ETA 40km, SMN

Figura 47. Precipitación climatológica de la Cuenca del Plata (1973-2013), Global Precipitation Climatology Project (GPCP).

Figura 48. 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<sup>a</sup>

Figura 49. Caudales medios anuales del río Paraná en Corrientes (1904-2013) y del río Uruguay en Paso de los Libres (1909-2013)

Figura 50. Diagrama de Hovmöller de precipitación (mm/d) sobre un área al norte de la Cuenca del Plata, Global Precipitation Climatology Project (GPCP)

Figura 51. Temperatura media climatológica de la Cuenca del Plata y de sus respectivas subcuenca, período 1961-1990, Climatic Research Unit (CRU)

Figura 52. 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

Figura 53. Temperatura del aire media decadal (°C) en Asunción, Paraguay. Fuente: UNA-DMH

Figura 54. Anomalía de la temperatura media global (1850-2014). Fuente: WMO

Figura 55. 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). El contenido de calor en los océanos (azul). Las anomalías de La temperatura de superficie, 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)

Figura 56. RF total (antropogénico más natural) para RCPs 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 (Cubasch et al., 2013)

Figura 57. Climatología de la precipitación mensual media (mm/d) del ETA-10km y del CRU para la Cuenca del Plata

Figura 58. Climatología de la precipitación mensual media (mm/d), ETA-10km (negro) y del CRU (verde) para el Área 1 (alto Paraguay y alto Paraná)

Figura 59. Proyecciones de la anomalía de la precipitación anual media (%) y la anomalía de la temperatura anual media (°C), para las tres décadas consideradas y para cada una de las sub cuencas y para la Cuenca del Río de la Plata, CPTEC, 2014.

Figura 60. Evolución de la anomalía de la precipitación (mm/d) para el área de la Cuenca del Plata, según varios modelos

Figura 61. Evolución de la anomalía de la temperatura del aire (°C) para el área de la Cuenca del Plata, según varios modelos

Figura 62. 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 (IPCC, 2012)

Figura 63. Anomalía de la precipitación total anual (arriba) y Número de días con lluvia (abajo), ETA-CPTEC

Figura 64. Días secos consecutivos (arriba) y Días húmedos consecutivos (abajo), ETA-CPTEC

Figura 65. Días con lluvia fuerte (arriba) y Días con lluvia muy fuerte (abajo), ETA-CPTEC

Figura 66. Días calientes (arriba) y Días fríos (abajo), ETA-CPTEC.

## Tablas

Tabla 1. Resultados del modelo climático regional ETA 10 km para períodos climáticos futuros en relación al clima de 1961-1990, CPTEC, 2014.

## Anexos

Anexo 1. Análisis del clima presente ETA-CRU, 1961-1990

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

Anexo 3. Anomalía de la Temperatura del Aire (°C), 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100

## 1. Resumen

Este Informe Final contiene las principales informaciones recabadas y relacionadas a los avances realizados sobre la caracterización de los principales sistemas de observación meteorológico e hidrológico, las instituciones que la realizan, como así también sobre la descripción de algunos de los tantos productos climáticos e hidroclimáticos que se generan en la región de la Cuenca del Plata, cabe destacar que este informe presenta en forma sintética, sin abundar, la información hidroclimática disponible en la región a fin de visualizar lo que operativamente está disponible y que podrían ser la base de un sistema de predicción y alerta hidroclimática.

Se presentan resultados sobre escenarios hidroclimáticos del futuro con una breve discusión sobre la posibilidad de impactos sectoriales.

## 2. Introducción

La Cuenca del Plata, geográficamente ubicada entre 14 y 37 grados de latitud sur y entre 43 y 67 grados de longitud oeste, es una vasta cuenca de captación que se extiende por 3,1 millones de km<sup>2</sup> y comprende parte del territorio de 5 países de Sudamérica, el sur de Brasil, el sudeste de Bolivia, gran parte de Uruguay, una amplia zona del centro y norte de Argentina y la totalidad del territorio del 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 y este 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 sudeste de Paraguay, con más de 2000 mm/año de precipitación, estos climas presentan una variabilidad interestacional o/e interanual que 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, incluso, gran parte de la cuenca, forma parte de la zona de tornados de Sudamérica.

## 3. Objetivo General

Elaborar la caracterización y diagnóstico detallado de la problemática transfronteriza asociada a los sistemas de predicción y alerta hidroclimática y gestión del riesgo, con vistas a definir una propuesta para la Cuenca del Plata (considerando la situación actual y los escenarios futuros), aportando las bases técnico científicas para la actualización en éstas temáticas, del ADT y formulación del PAE.

Los trabajos se desarrollarán en base al Macro ADT de la Cuenca del Plata (2005), a los aportes desarrollados por los diversos Grupos temáticos y a los aportes a ser realizados por las consultorías Senior de Apoyo. El resultado del análisis e informe correspondiente deberá ser presentado a nivel de la Cuenca del Plata, con detalle por macro-cuencas.

#### **4. Objetivos Específicos**

##### **Monitoreo Hidrometeorológico**

Identificar las redes hidrometeorológicas existentes en el país del Consultor que pueden ser incluidas en una Red Hidrometeorológica Básica, sobre la base de criterios establecidos por el especialista, quien tendrá en cuenta los lineamientos técnicos del Programa WIGOS de OMM.

##### **Servicios Climáticos y Sistemas de Alerta**

Relevar las diversas experiencias en el país del Consultor referidas al desarrollo y/o aplicación de Servicios Climáticos y Sistemas de Alerta en las instituciones de cada uno de los países.

##### **Coordinación e Integración**

Coordinar el desarrollo de las dos consultorías Seniors de Hidroclimatología e integrar sus resultados como aportes a la presente consultoría.

##### **Interacción con otros Especialistas y GT**

Interactuar con los consultores que estén desarrollando actividades en paralelo a la presente, Especialistas de Recursos Hídricos, de Ambiente y con el INPE que desarrolla los Escenarios Climáticos para brindar aportes a la elaboración del ADT de la Cuenca del Plata. Asimismo deberá considerar los resultados del Grupo Temático (GT) del Componente III.

#### **5. Metodología**

El presente Informe Final se basa en los informes nacionales que llevan adelante los Consultores Seniors 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, 2012 y Asunción, 2014, respectivamente, 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 recientemente en Brasilia, en los resultados de las diferentes reuniones del Componente III: Modelos hidroclimáticos y escenarios para la adaptación, llevadas adelante por el PM en los últimos años, y en las distintas experiencias recabadas en la región.

## 6. Sistemas de Monitoreo, Alerta y Predicción Hidroclimática

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

### 6.1. Sistemas de Monitoreo Hidrometeorológico

#### 6.1.1. Observaciones Meteorológicas

Las observaciones meteorológicas en general son una de las principales actividades de los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMNs), así en la Cuenca del Plata contamos con 5 de ellos, uno en cada país, y son:

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Argentina

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Bolivia

El Instituto Nacional de Meteorología (INMET), Brasil

La Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH), Paraguay

El Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET), Uruguay

Estas instituciones son el contacto o nexo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), que desde 1950 es el organismo de las Naciones Unidas especializado en la meteorología (tiempo y clima), la hidrología operativa y las ciencias geofísicas conexas.

En algunos países, las observaciones meteorológicas también son realizadas por otros organismos nacionales, estatales, provinciales, estaduales o municipales, así, se cuentan con observaciones meteorológicas de alcance nacional o regional, como lo realizan, entre otros:

El Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina

El Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE), Brasil

El Centro Nacional de Monitoreamiento y Alertas de Desastres Naturales (CEMADEN), Brasil

El Sistema Meteorológico de Paraná (SIMEPAR), Brasil

El Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA), Paraguay

El Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguay

No obstante, cabe resaltar que en la Cuenca del Plata, también el sector privado u organizaciones no gubernamentales tienen participación en las observaciones meteorológicas, así, las asociaciones de productores agropecuarios 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, en la Argentina organizaciones que agrupan a productores agropecuarios como las Bolsas de Cereales, como la de Rosario y Entre Ríos también disponen de sistemas de observación meteorológica similar

### **6.1.2. Observaciones Hidrológicas**

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

La Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH), Argentina

El Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina

La Dirección Nacional de Vías Navegables (DNVN), Argentina

La Agencia Nacional de Aguas (ANA), Brasil

La Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP), Paraguay

La Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA), Uruguay

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

La Administración Nacional de Electricidad (ANDE), Paraguay

La Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE), Uruguay

En el sector hídrico, también resaltan las entidades que operan usinas hidroeléctricas en los ríos internacionales e internos en la cuenca son operadores de estaciones hidrometeorológicas, tal es el caso de:

ITAIPÚ Binacional (IB), Brasil-Paraguay

Entidad Binacional YACYRETÁ (EBY), Argentina-Paraguay

Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTM-SG), Argentina-Uruguay

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

La Figura 1, muestra la densidad pluviométrica en las Subcuenca de los Ríos Paraguay, Paraná y Uruguay, notándose la asimetría existente respecto a las densidades instrumentales existentes.

Un informe más detallado sobre las Redes de Observación Hidrometeorológica estaría disponible por el Grupo de Recursos Hídricos.

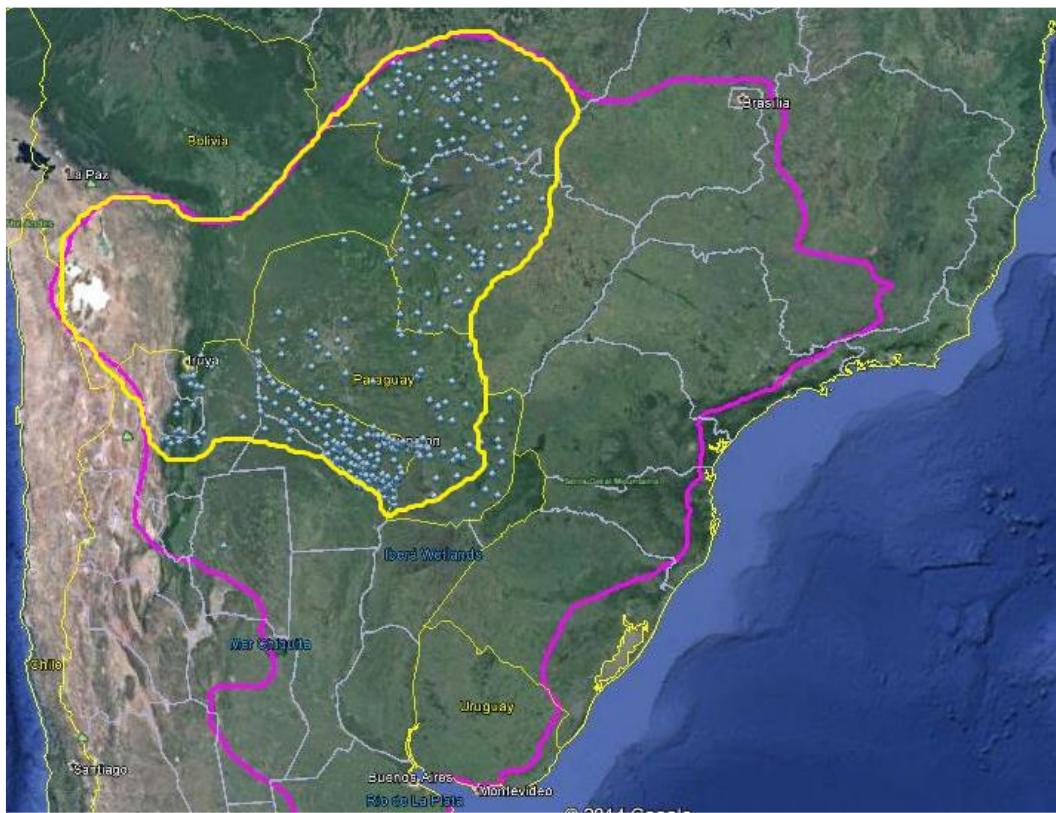


Figura 1a. Densidad pluviométrica en la Cuenca del Río Paraguay

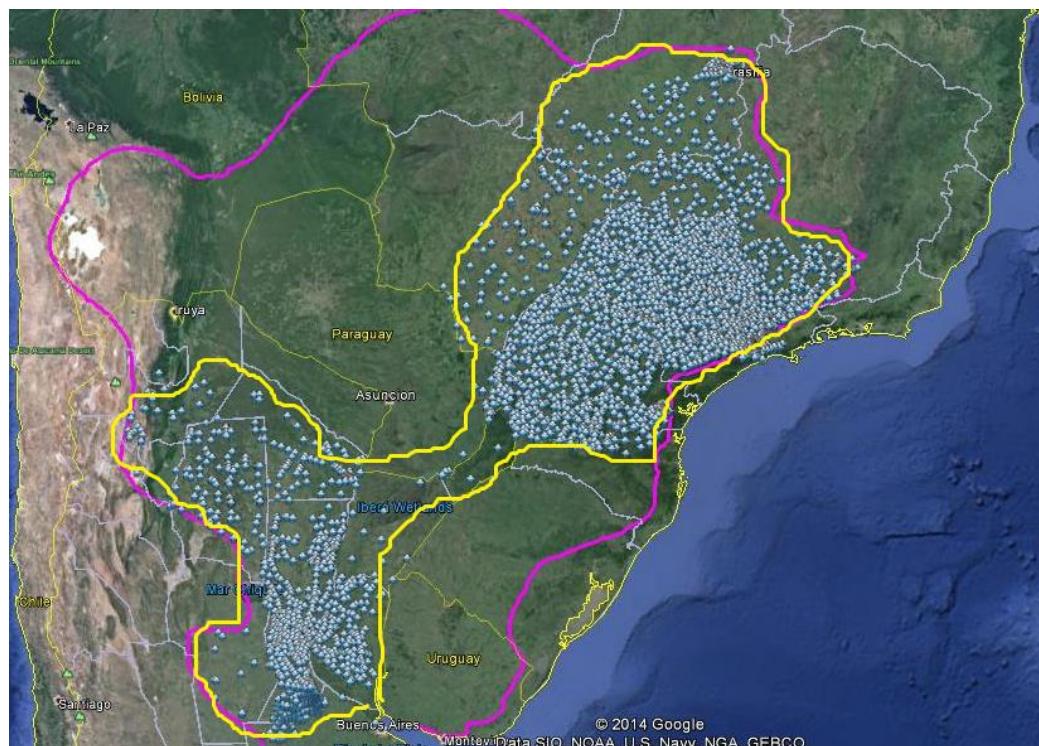


Figura 1b. Densidad pluviométrica en la Cuenca del Río Paraná

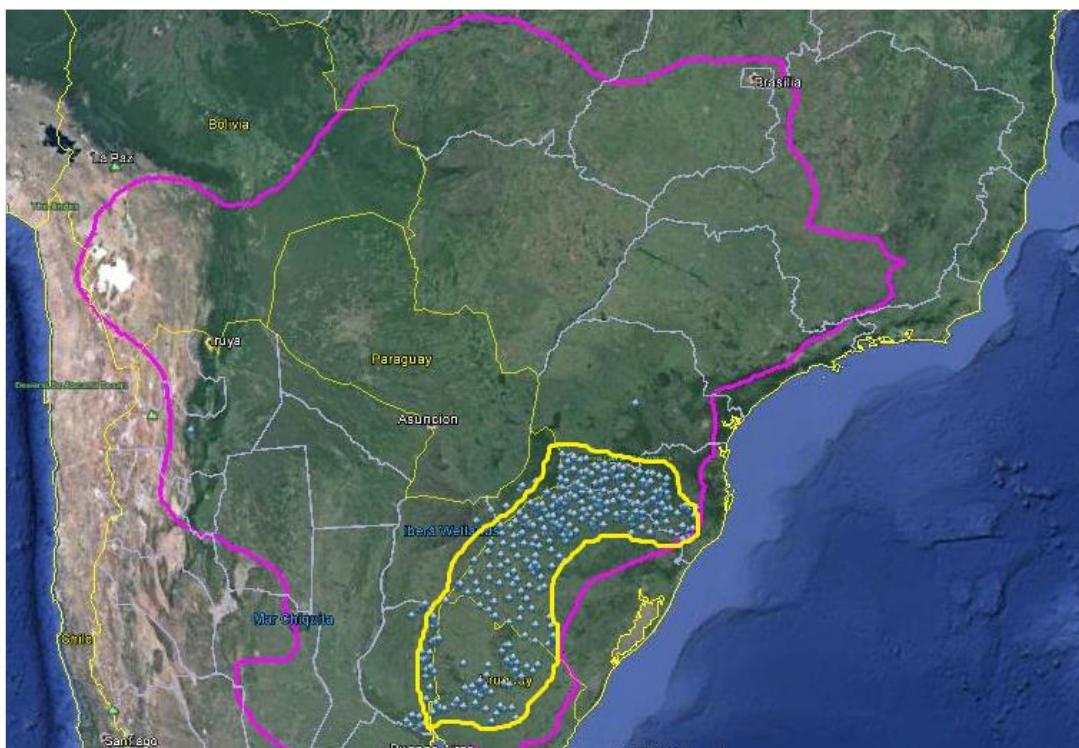


Figura 1c. Densidad pluviométrica en la Cuenca del Río Uruguay

### 6.1.3. 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 hidrometeorológico, 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 año 2007 y 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 abarque 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: SMN 1 RM en Ezeiza, INTA 1 RM Doppler en Pergamino y 2 RMD en Anguil (La Pampa) y en Paraná, DACC 3 RM en Mendoza, Tabacalera Jujuy 1 RM y SHN 1 RM en Bahía Blanca (Espora). Los radares meteorológicos (RMs) que involucran áreas que forman parte de la Cuenca del Plata son los ubicados en:

- 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 Proyecto Sistema Nacional de Radares Meteorológicos (SINARAME), desarrollado en forma conjunta por el Ministerio de Planificación Federal y el Ministerio de Defensa y con la participación de la empresa INVAP S.E., el proyecto

es coordinado y supervisado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH). Tiene por objetivos el desarrollo y 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 desarrolla en dos etapas, en la primera se desarrollaron y fabricaron los dos primeros Radares Meteorológicos Argentinos, el prototipo RMA0 y el operativo RMA1, 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 fue recientemente instalado en la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Provincia de Córdoba.

Durante 2015-2016, se desarrollaría la segunda etapa del proyecto con la instalación de 10 radares meteorológicos en distintos sitios, 5 centros regionales de procesamiento y 55 estaciones meteorológicas automáticas. En esta segunda etapa el sector argentino de la Cuenca del Plata tendría 5 nuevos radares meteorológicos, (Figura 2).

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

Son integrantes del SINARAME los socios fundadores SMN, INA, INTA y SSRH, actualmente forman parte del proyecto SHN, UBA, CIMA, UNC, FAMAF, ARA, DACC, ANAC, LATSER. El SINARAME no se encuentra cerrado a la integración de otros organismos o entidades.



Figura 2. Distribución de radares del SINARAME

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 territorio brasileño. 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 Monitoreo y Alertas de Desastres Naturales (CEMADEN), MCTI, de nueve radares con tecnología de última generación y serán instalados en regiones que hasta ahora no eran monitoreadas por estos sistemas (Figura 3).

La operación y mantenimiento de los radares será realizada por el 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 los mismos son operados por varias instituciones como SIMEPAR, CEMADEN, DECEA, UNESP y DAAE.

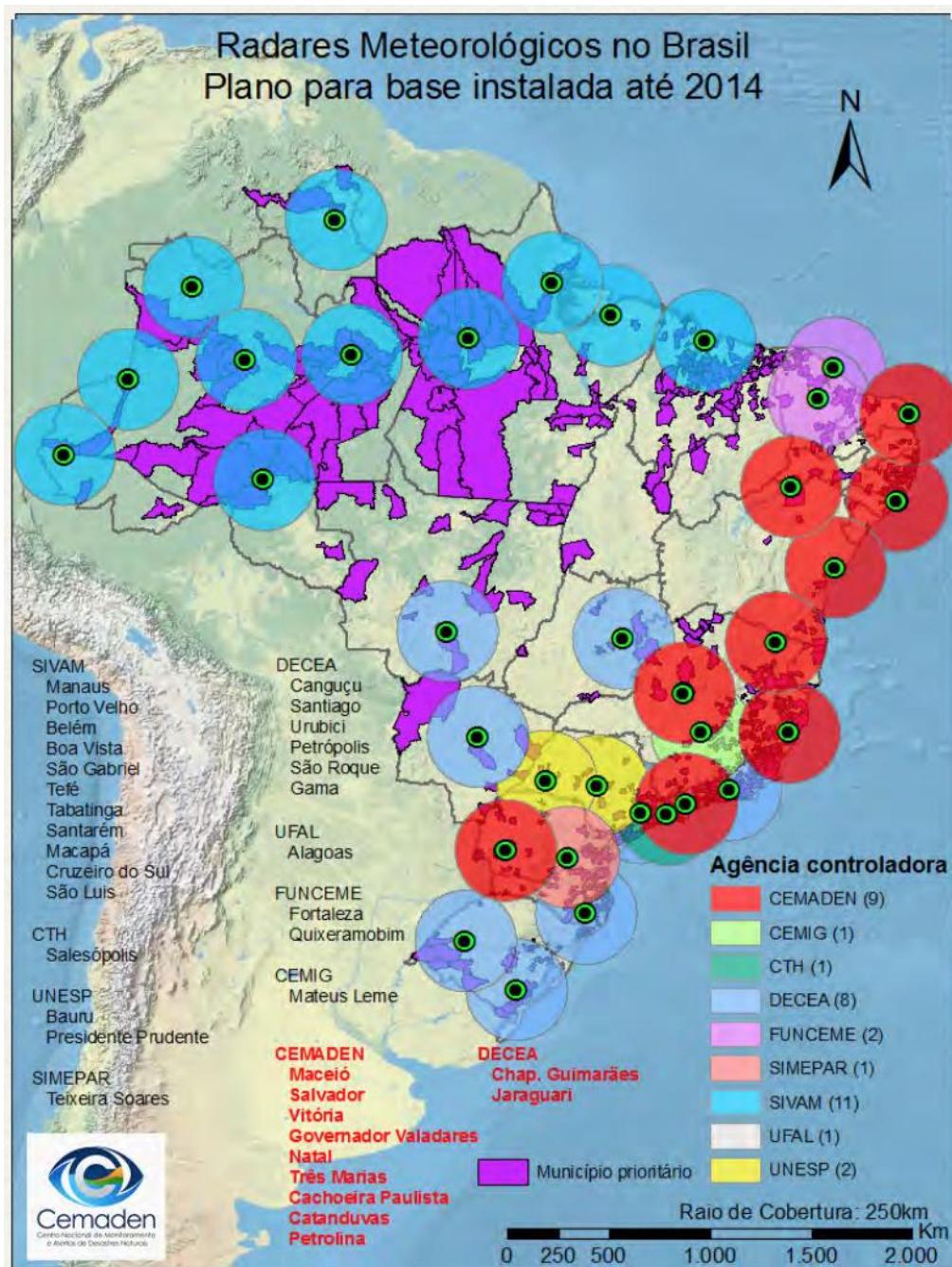


Figura 3. Red de Radares Meteorológicos en funcionamiento en Brasil

En Paraguay, la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil opera a través de la Dirección 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, esta iniciativa 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 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 de Regional Radares Meteorológicos

La iniciativa de integración de Redes de Monitoreo y Radarización de la Cuenca del Plata ha tenido como iniciativas la realización de 2 Talleres relacionados al tema, el Primer Taller se realizó en la Ciudad de Buenos Aires en Setiembre de 2012 y el Segundo Taller de Sistemas de Alerta, Integración de Redes de Monitoreo y Radarización de la Cuenca del Plata se llevo 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 4, integrando los radares de Argentina, Brasil y Paraguay. En la actualidad esta visión sería más completa si se lleva en consideración el plan de radarización del norte de Argentina mencionado anteriormente.

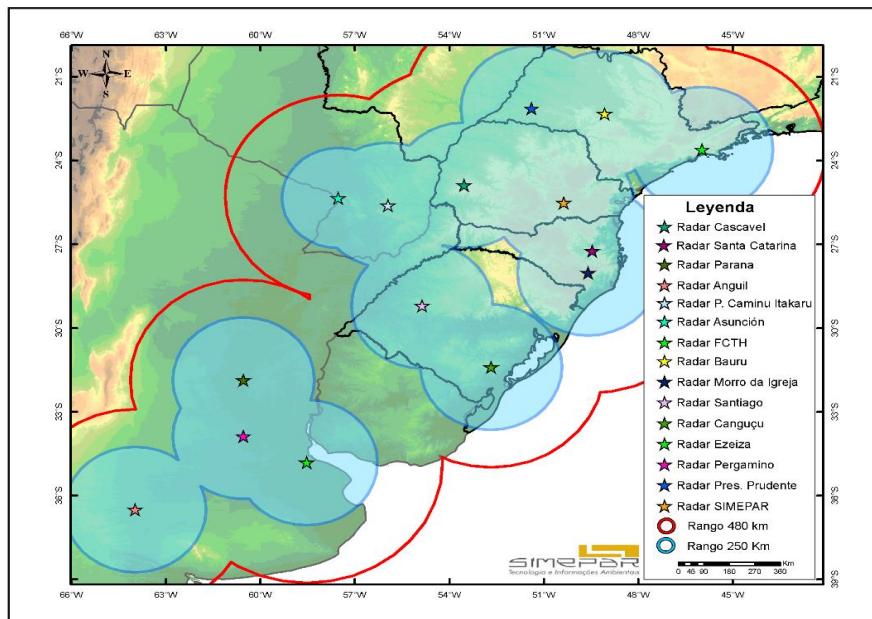


Figura 4. Radares Meteorológicos en la Cuenca del Plata, Mayo 2014, SIMEPAR

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 Hidrometeorológico regional. La posibilidad de un radar meteorológico funcionando en el Uruguay, e integrado regionalmente, ayudaría a cerrar los espacios vacíos en las observaciones de radar meteorológico en la Cuenca del Plata.

#### 6.1.4. Satélites meteorológicos

La información procedente de satélites meteorológicos es sumamente útil con fines hidrometeorológicos ya que proporcionan datos actualizados de las condiciones meteorológicas que afectan grandes áreas, y constituyen una herramienta de observación complementaria para obtener información de zonas o áreas geográficas con escasa o nula información, como también para seguimiento y 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 min. Los Servicios Meteorológicos y Centros Meteorológicos de la región procesan información del GOES-13 y están disponibles en tiempo real (Figura 5). 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 representación 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 color en la que las áreas de temperaturas más bajas han sido reforzadas o realzadas a través de procesos de digitalización. Se les aplica colores pre-establecidos, apareciendo así las temperaturas de topes nubosos. 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). De esta forma así 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 agua precipitable, índices de inestabilidad y otros.

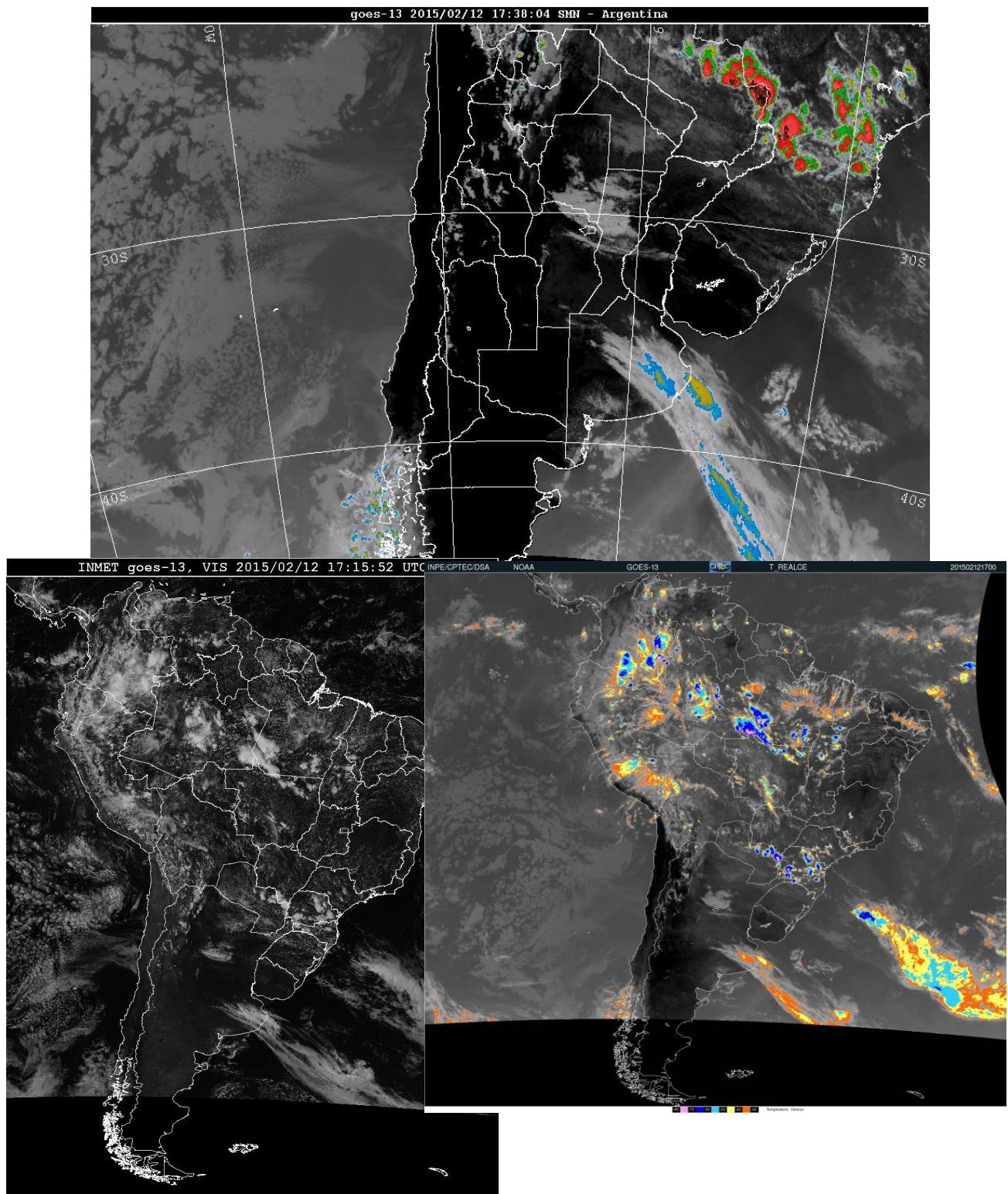


Figura 5. Imágenes del satélite Geoestacionario GOES-13

### 6.1.5. 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**

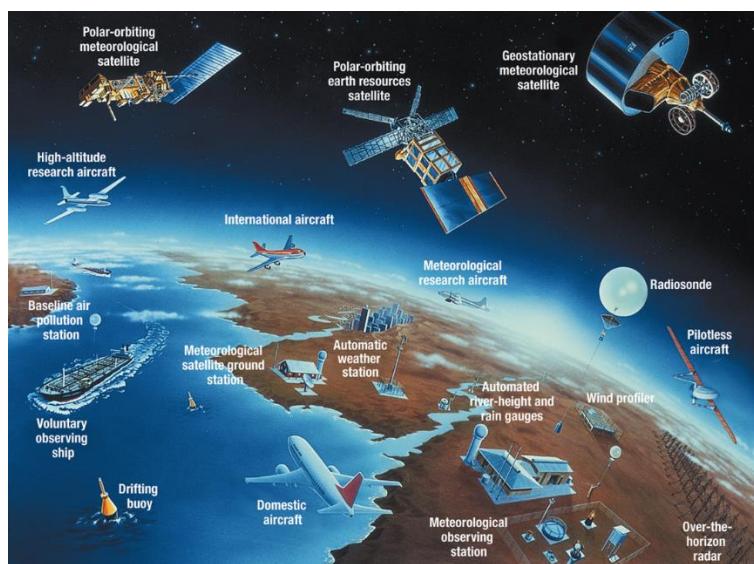


Figura 6. Ilustración de algunos de los múltiples sistemas de observación en uso en tierra, mar, atmósfera y desde el espacio para el monitoreo del tiempo, clima, agua y otras variables ambientales relativas a los mismos.

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, GAW, WHYCOS) operados por Miembros en un sistema de observación integrado, inteligente y coordinado (Figura 6). Esto cubrirá los crecientes requerimientos de observación de los Miembros de la OMM, 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 al tiempo, clima, agua y 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. En esta forma, mejorará las habilidades de los Miembros de OMM para cumplir los requerimientos nacionales de expansión y alcanzar mayor visibilidad nacional con otras agencias relacionadas al medioambiente.

## 6.2. 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, radar, etc, 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 la 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, seguidamente se darán tan solo algunos ejemplos de productos que se generan ya que los mismos abundan y por cuestiones de practicidad solo se mencionan algunos de los más relevantes en los distintos países de la Cuenca del Plata.

### 6.2.1. 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
- Avisos a corto plazo
- Alerta
- Alertas por fenómenos persistentes

Como Servicios Climáticos tiene organizado una gama de productos y servicios, a modo de ejemplo se dan a conocer algunos de ellos.

#### *Monitoreo de precipitación por satélite*

El Servicio Meteorológico Nacional elabora mapas de precipitaciones acumulada en 10 días para el último mes y a nivel mensual para los últimos 12 meses derivados las estimaciones satelitales de precipitación provistas por la misión Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), un esfuerzo conjunto entre la NASA y la Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). El producto experimental multi-satélite 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:  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$
- Resolución temporal: 3 horas
- Dominio global:  $50^\circ\text{N} - 50^\circ\text{S}$
- Disponibilidad: desde el 31 de diciembre de 1997

En la Figura 7 se presentan los productos correspondientes a la última década de enero 2015 y para el mes de enero 2015 en su totalidad.

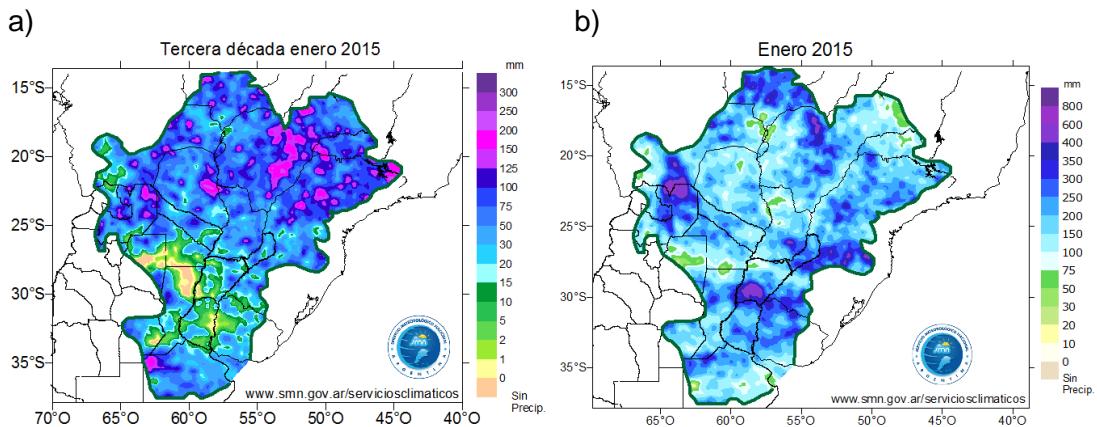


Figura 7. Precipitación acumulada durante la última década de enero 2015 (a) y en el mes completo (b) en la Cuenca del Plata. Unidades: milímetros. Fuente: SMN

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

El SMN realiza un monitoreo y análisis de las componentes hidrometeorológicas para la cuenca del Plata en su conjunto. Los productos elaborados que se muestran corresponden a mapas de precipitación acumulada 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 las Figuras 8 y Figura 9 se muestran a modo de ejemplo estos productos correspondientes a enero 2015.

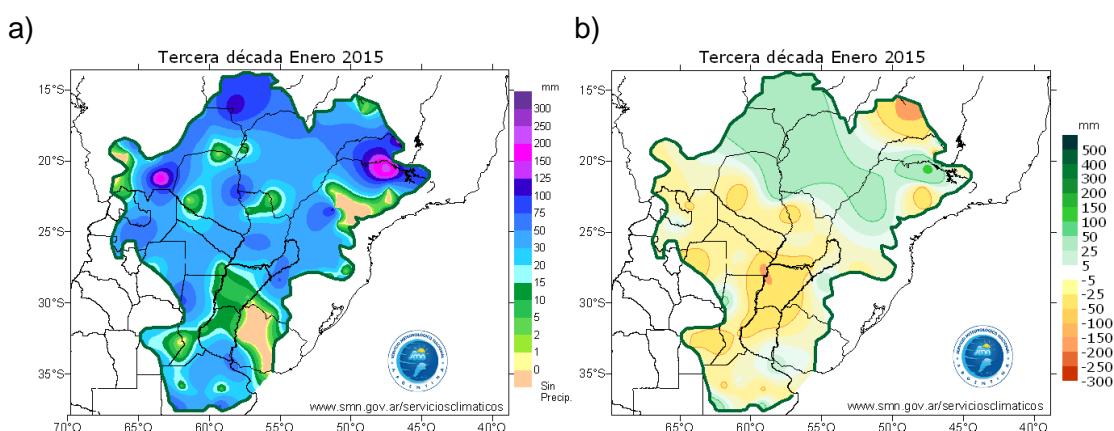


Figura 8. Precipitación (mm) acumulada para la última década de enero 2015 (a) y su correspondiente anomalía (b) en la Cuenca del Plata. Fuente: SMN

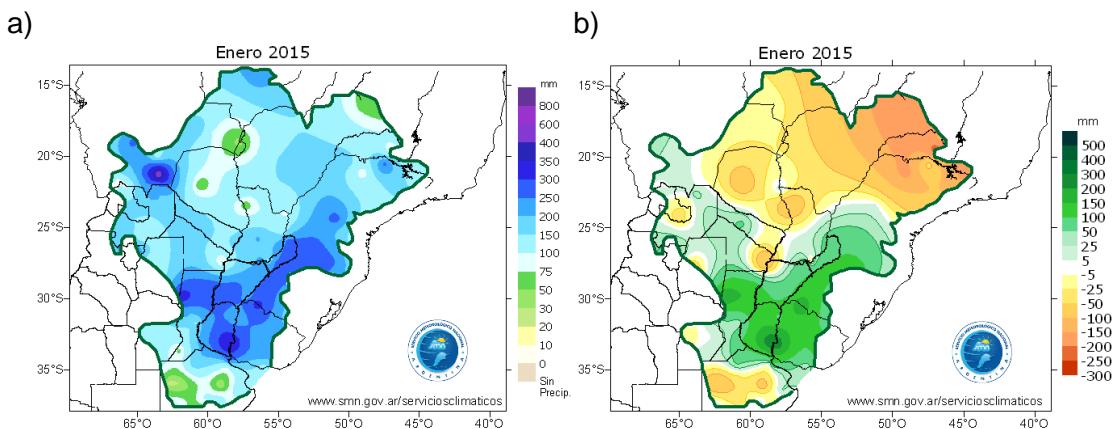


Figura 9. Precipitación (mm), acumulada durante enero 2015 (a) y su correspondiente anomalía (b) en la Cuenca del Plata.

#### **Análisis de precipitación estimada y prevista a nivel de subcuenca 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 subcuenca de la Cuenca del Plata definidas de acuerdo con los límites que se indican en la Figura 10. 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 la misma en los cuales se registra un valor de precipitación en un intervalo determinado. 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 como 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 situación 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 próximos seis días (comenzando en el día de la fecha), para cada subcuenca. En este caso, el histograma representa la distribución de frecuencia relativa en forma porcentual de la precipitación pronosticada en las distintas subcuenca de la Cuenca del Plata. Es decir, la cantidad de puntos dentro del dominio de una subcuenca con respecto al total de puntos de la misma, en los cuales se pronostica un valor de precipitación dentro de un intervalo determinado. Como ejemplo, la Figura 11 presenta el histograma de lluvia pronosticada a 6 días para el Tramo Medio de la Cuenca del río Uruguay.

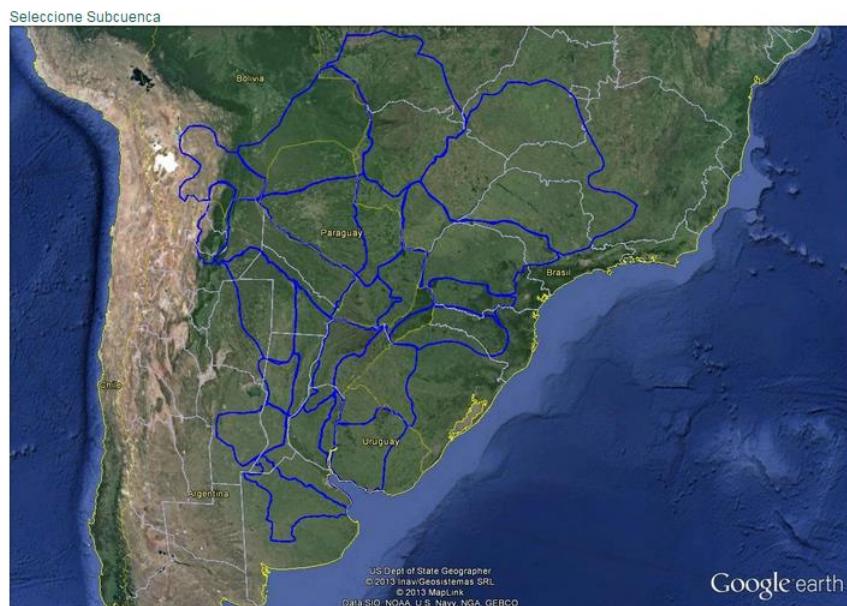


Figura 10. Subcuencas de la Cuenca del Plata con disponibilidad de estimaciones de precipitación acumulada en 10 días y pronósticos para los 6 días siguientes en base a estimación satelital.

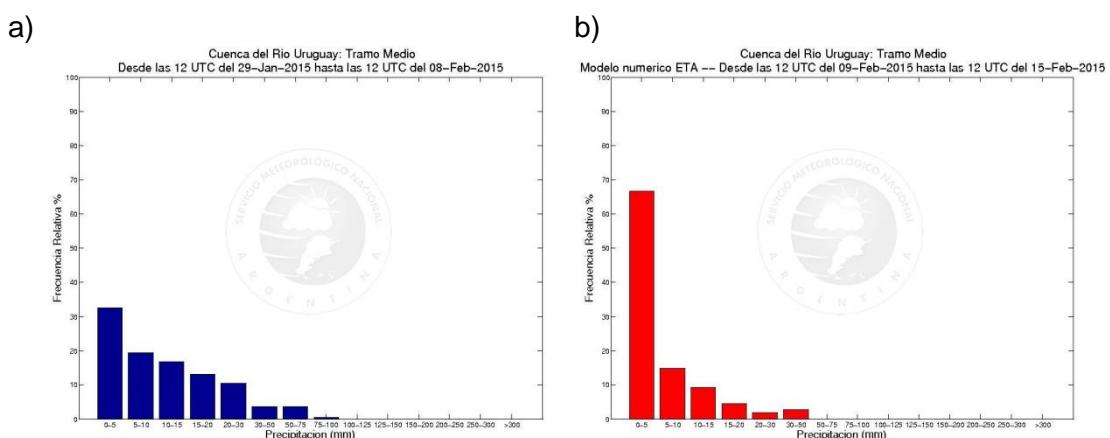


Figura 11. Histogramas de precipitación acumulada en los últimos 10 días en el tramo Medio de la Cuenca del río Uruguay (a) y pronóstico de frecuencia relativa de ocurrencia de rangos de precipitación a 6 días en la misma cuenca (b).

Más información climática e hidroclimática del SMN esa disponible en [www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/](http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/)

## Instituto Nacional del Agua (INA)

### **Sistema de Alerta Hidrológico de la Cuenca del Plata (SlyAH)**

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 (SlyAH) se apoya en una Red Hidrométrica Nacional (42 estaciones) y en una Red Hidrométrica Internacional (30 estaciones). En la Figura 12 se presenta en forma esquemática las cuatro etapas básicas que conforman el SlyAH.

En 2013 en coincidencia con el Año Internacional de la Cooperación del Agua, la República Argentina enfrenta el futuro integrando redes, con la participación de entidades nacionales, provinciales y municipales, así como organizaciones de cuenca, universidades y empresas, 3067 estaciones Hidrometeorológicas en total (Figura 13).

Los productos generados son públicos y disponibles a través de la web del SlyAH (<http://www.ina.gov.ar/alerta/index.php?alerta=siyah>), consisten en:

- Información hidrológica diaria del Sistema Cuenca del Plata (Figura 14)
- Posibles escenarios hidrológicos en la cuenca del Plata para el próximo trimestre
- Previsión a corto plazo de la precipitación
- Modelación y pronóstico hidrológico de alturas del río Paraná
- Productos derivados de sensores remotos

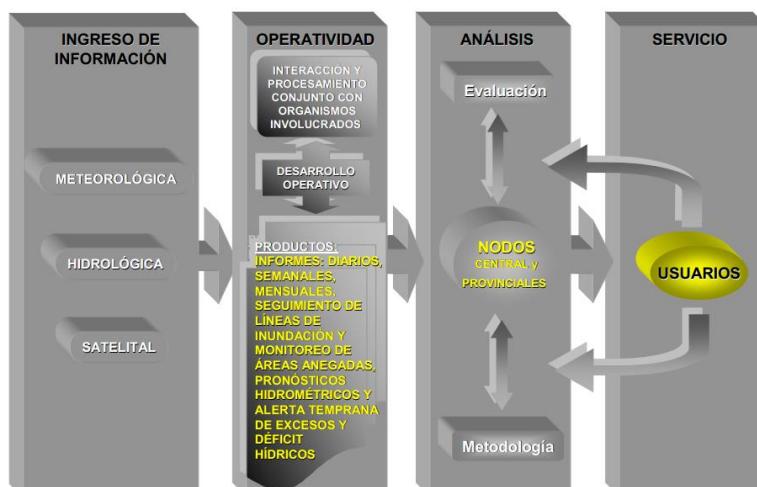


Figura 12. Descripción de las etapas que conforman el SlyAH

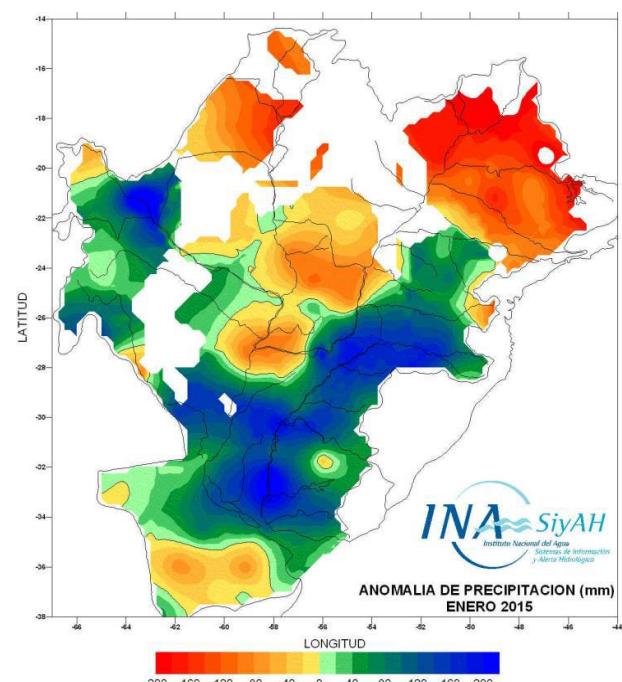
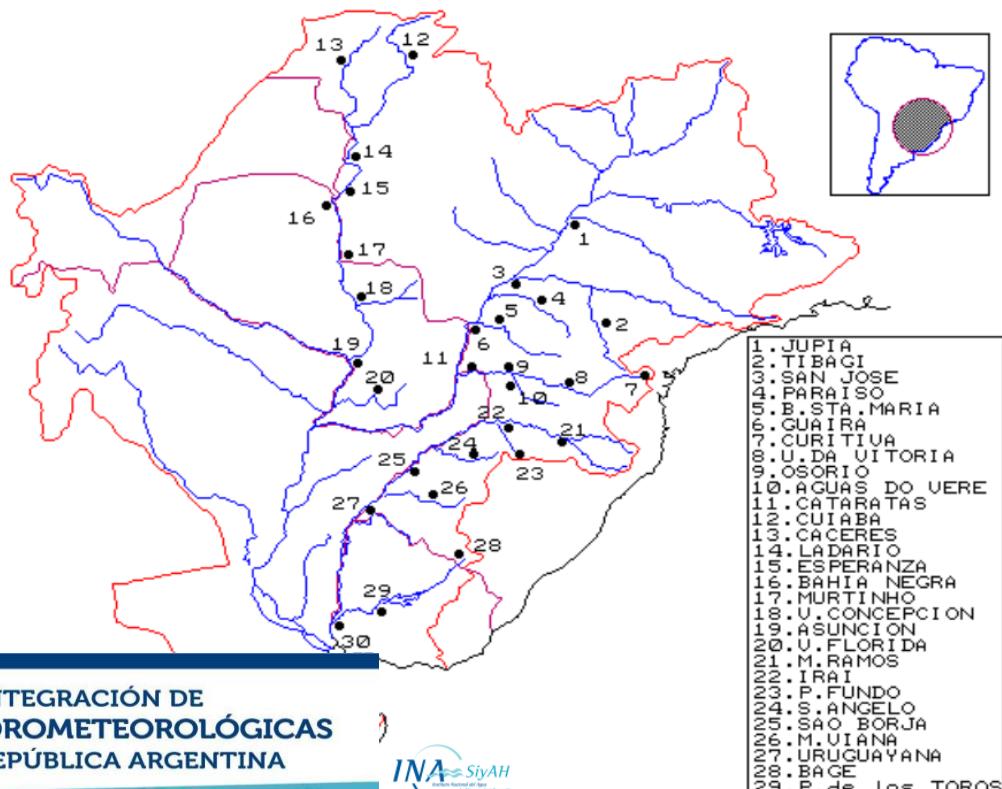
**SiyAH: Sistema de Información y Alerta Hidrológico - Red Hidrométrica Internacional**

Figura 13. Sistema de Información y Alerta Hidrológico (SlyAH), INA

INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA / CENTRO OPERATIVO DE ALERTA HIDROLÓGICO (C.O.A.H.)												FECHA: 05/02/2015			
NIVELES HIDROMETRICOS (cm)												FECHA: 05/02/2015			
ESTACION	LECTURA (cm)	VAR. DIARIA	NIVEL ALERTA	NIVEL EVAC.	ESTACION	LECTURA (cm)	VAR. DIARIA	NIVEL ALERTA	NIVEL EVAC.	ESTACION	LECTURA (cm)	VAR. DIARIA	NIVEL ALERTA	NIVEL EVAC.	
<b>RIO IGUAZU</b>															
ANDRESITO	156	4	1050	1350	IGUAZU	1380	-20	2500	4000						
<b>RIO PARAGUAY</b>															
PILCOMAYO	234	1	535	600	FORMOSA	380	1	780	830	BERMEJO	398	3	650	700	
ISLA DEL CERRITO	SD	-----	620	680											
<b>RIO PARANA</b>															
LIBERTAD	1440	80	2900	3100	ELDORADO	1070	-30	2100	2300	POSADAS	1032	2	1100	1200	
ITUZAINGO	154	0	350	400	ITA IBATE	236	20	700	750	ITATI	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	PARANA	402	-4	470	500	
SANTA FE	446	-4	530	570	DIAMANTE	458	-4	530	550	ROSARIO	425	0	500	530	
<b>DELTA DEL PARANA</b>															
V. CONSTITUCION	360	-2	400	450	SAN NICOLAS	328	-1	420	500	RAMALLO	298	0	350	400	
VICTORIA	449	3	460	490	IBICUY	120	5	280	310	PARANACITO	155	-25	230	260	
SAN PEDRO	224	-14	340	360	BARADERO	206	-12	280	310	ZARATE	95	-25	200	220	
<b>RIO URUGUAY</b>															
PEPIRI MINI	310	-30	-----	-----	EL SOBERBIO	274	-5	-----	-----	ALBA POSSE	290	40	-----	-----	
PANAMBI	220	20	-----	-----	SAN JAVIER	287	4	800	1000	PTO. CONCEPCION	264	12	1550	1650	
GARRUCHOS	386	100	1200	1400	SANTO TOME	455	-3	1050	1200	ALVEAR	419	-30	950	1100	
PASO 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	COLON	316	-12	710	790	
CONC. URUGUAY	258	-10	530	630	P. GUALEGUAYCHU	170	2	350	380	B. GUALEGUAYCHU	170	0	290	315	
Fuentes: PREFECTURA NAVAL ARGENTINA - COMISION TECNICA MIXTA SALTO GRANDE - ENTIDAD BINACIONAL YACYRETÁ															
<b>CAUDALES HIDROMETRICOS (m3/s)</b>															
ESTACION	VALOR CALCULADO	ESTACION	VALOR CALCULADO	ESTACION	VALOR CALCULADO	ESTACION	VALOR CALCULADO	ESTACION	VALOR CALCULADO	ESTACION	VALOR CALCULADO	ESTACION	VALOR CALCULADO	ESTACION	VALOR CALCULADO
ANDRESITO	2079	YACYRETÁ EROG.	13900	SANTO TOME	2870										
PILCOMAYO	2386	CORRIENTES	17630	PASO DE L' LIBRES	5030										
				APORTE S.GRANDE	5986										

Figura 14. Información diaria de alturas y caudales hidrométricos en el sector argentino de los ríos Iguazú, Paraguay, Paraná, Uruguay y Delta del Paraná. Fuente: SlyAH

Pronósticos de altura del río Paraná en diferentes puntos del sector argentino que en situaciones normales se realizan a plazos de 5 y 10 días. En crecidas (bajantes) significativas se pronostican máximos (mínimos), fechas en las que se alcanzarían determinados niveles críticos y las permanencias por encima (o por debajo) de los mismos. La Figura 15 muestra a modo de ejemplo, un pronóstico recientemente elaborado.

Estaciones	Nivel Actual (m) 04-feb-2015	Altura Media Febrero (1989 / 2013) (m)	Nivel de Alerta (m)	Nivel de Evacuación (m)	Pronóstico (m) para el			Estado	Pronóstico (m) para el			Estado
					09-feb-2015	14-feb-2015	14-feb-2015		09-feb-2015	14-feb-2015	14-feb-2015	
CORRIENTES	3.75	4.65	6.50	7.00	3.41	3.53	3.65	3.48	3.60	3.72	3.72	
BARRANQUERAS	3.65	4.65	6.00	6.50	3.46	3.60	3.74	3.46	3.60	3.74	3.74	
GOYA	3.89	4.46	5.20	5.70	3.61	3.78	3.95	3.53	3.70	3.87	3.87	
RECONQUISTA	3.40	4.20	5.10	5.30	3.08	3.27	3.46	3.05	3.24	3.43	3.43	
LA PAZ	4.75	4.70	5.80	6.15	4.39	4.60	4.81	4.34	4.55	4.76	4.76	
PARANÁ	4.09	3.58	4.70	5.00	3.68	3.91	4.14	3.66	3.89	4.12	4.12	
SANTA FE	4.51	3.96	5.30	5.70	4.10	4.36	4.62	4.04	4.30	4.56	4.56	
ROSARIO	4.30	3.57	5.00	5.30	3.81	4.09	4.37	3.72	4.00	4.28	4.28	
" A ":"Valores que superan el nivel de alerta												
" E ":"Valores que superan el nivel de evacuación												
" s/d ":"Sin dato.												
Se indica el rango de confiabilidad del pronóstico												

Figura 15. Pronóstico de altura del río Paraná en diferentes estaciones para horizontes temporales de 5 y 10 días. Fuente: SlyAH

### **Programa ALERT.AR: Pronóstico meteorológico para el 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 (SMN), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) con la finalidad de generar pronósticos meteorológicos 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 a fin de permitir tomar decisiones en tiempo real que permitan mejorar el tiempo de respuesta de las alertas meteorológicas con el objeto de 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 geología, la provincia de Santa Fe es sumamente vulnerable a una variedad de amenazas naturales, especialmente a inundaciones. Dependiendo del Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente de la provincia funciona la red de alerta del Río Salado.

El río Salado es uno de los principales afluentes del río Paraná en territorio argentino y su cuenca tiene una superficie de 94.750 km<sup>2</sup>. Descarga sus aguas entre las ciudades de Santa Fe (350.000 hab.) y Santo Tomé (60.000 hab.), con un caudal módulo de 144,70 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. 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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup>.

El sistema de alerta dispone de información en 38 estaciones remotas: 9 de tipo A1 (correspondientes a medición pluviométrica, pluviográfica y de humedad de suelo), 5 de tipo A2 (medición pluviográfica y freatigráfica, 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 web <https://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.

**MINISTERIO DE AGUAS, SERVICIOS PUBLICOS Y MEDIO AMBIENTE  
SUBSECRETARIA DE PLANIFICACION Y GESTION  
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS ESPECIFICOS  
COORDINACION DE PREVENCION HIDRICA**

**SISTEMA DE ALERTA DE LA CUENCA DEL RIO SALADO**

Enero de 2015

Estación Telemétrica	Nivel de Alerta	Días		Diferencia (Cm)	Estado Actual	Alerta
		29	30			
Tostado	4.00	4.13	4.17	4	C	A
Calchaqui	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 Tome	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	
Aº Cululú	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

SD: Sin Datos

SE: Sin Escala (valor por debajo del Cero de la Escala)

Alturas en metros

Dif en cm. (En las ultimas 24 hs)

XXX:  
XXX:  
XXX:  
XXX:

Dato Observador  
Valor Interpolado  
Dato Sensor Telemétrico  
Valor Estimado



PROVINCIA DE  
SANTA FE

Figura 16. Ejemplo de reporte de alturas del río Salado provisto por el Sistema de Alerta existente en la cuenca. Fuente: IDESF

*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 la ciudad de Santa Fe se ha establecido un Sistema Municipal de Gestión de Riesgos para dar un marco integral a las acciones tendientes a la reducción de riesgos. 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 recuperación posterior a emergencias o desastres. En este marco, se ha desarrollado un sistema de alerta temprano propio para eventos hidrometeorológicos.

En la Figura 17 se presenta el esquema del protocolo básico de acción del sistema de alerta temprana de la ciudad de Santa Fe. El sistema está conformado por un Centro de Monitoreo con observadores propios que cuentan con información en tiempo real para la toma de decisiones, 13 estaciones meteorológicas automáticas, 20 estaciones meteorológicas asociadas, recepción de datos, imágenes satelitales e imágenes de radar provenientes del Servicio Meteorológico Nacional, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y la Universidad Nacional del Litoral, Manual de Procedimientos para la actuación municipal ante emergencias por lluvias o crecida de

rios 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 procedimientos 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 línea 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/>

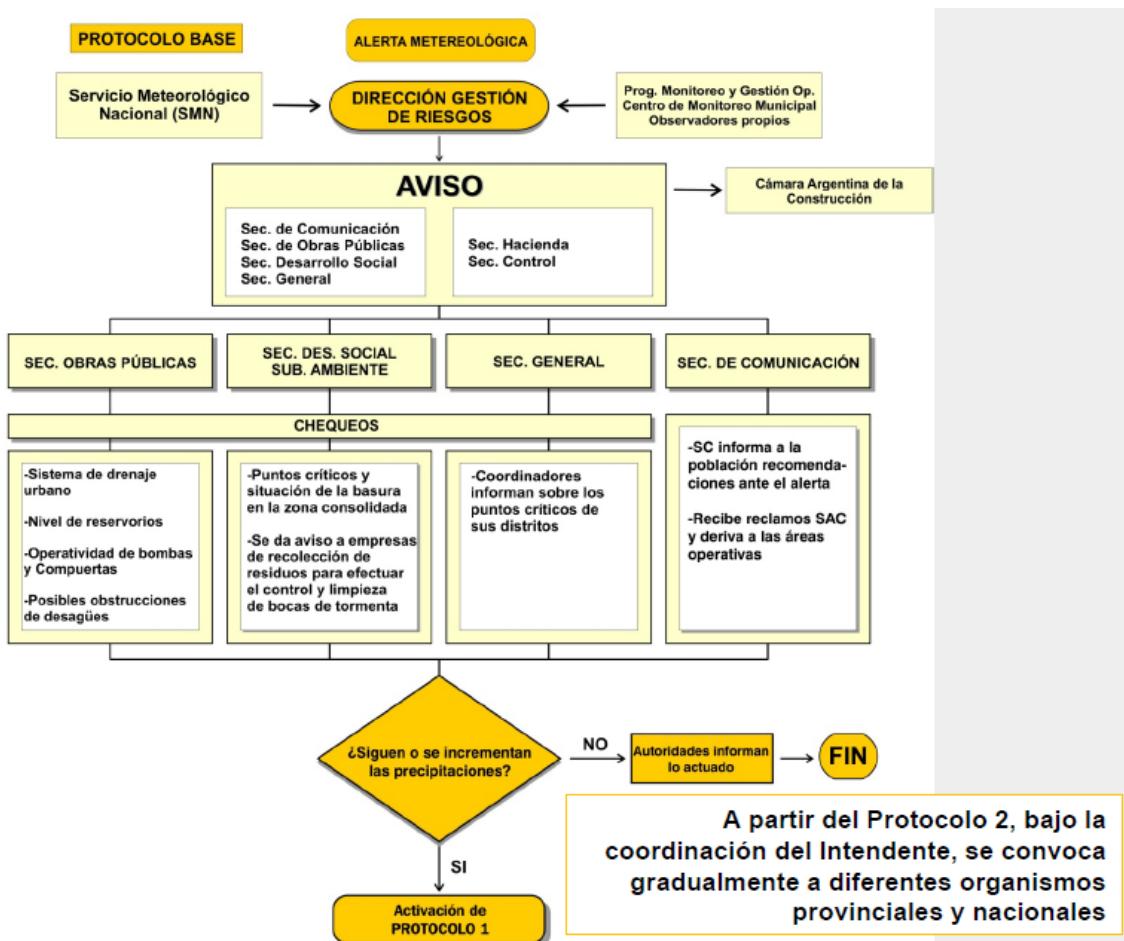


Figura 17. Esquema de funcionamiento del sistema de alerta temprana existente en la ciudad de Santa Fe.

## 6.2.2. Bolivia

### Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Es la entidad rectora de las actividades meteorológicas, hidrológicas, agrometeorológicas y actividades afines en el ámbito nacional; con representación internacional en su actividad. Como institución de ciencia y tecnología, presta servicios especializados para contribuir al desarrollo sostenible del Estado Boliviano, atendiendo los requerimientos de información en el ámbito nacional e internacional y participa en la vigilancia atmosférica mundial, coadyuva 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 km<sup>2</sup> (Figura 18), y puede ser subdividida en tres grandes subcuenca, la subcuenca del Río Paraguay en el sudeste con 99.448 km<sup>2</sup>, la subcuenca del Río Pilcomayo al sudoeste con 113.080 km<sup>2</sup> y la subcuenca del Río Bermejo con 12.390 km<sup>2</sup>, esta última cuenta con un afluente muy importante como es el Río Grande de Tarija.

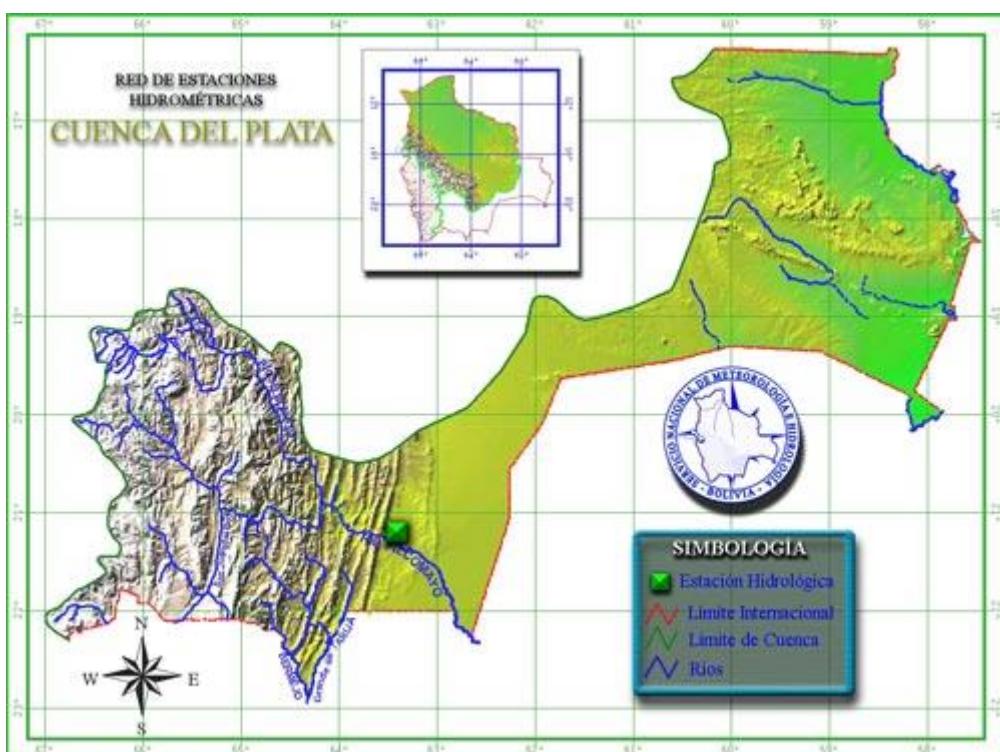


Figura 18. Red de estaciones hidrométricas en Bolivia, parte de Cuenca del Plata

Actualmente, la base de datos del SENAMHI informa de aproximadamente 1000 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el país, incluida las pluviométricas. El tratamiento de datos ha sido manual hasta el año 1984, posteriormente se utilizaron planillas electrónicas hasta que en 1994 se implementó el programa CICLOM, 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 introduce el programa HYDROM para el tratamiento y almacenamiento de la información hidrométrica y el PLUVIOM para la información pluviométrica, ambos programas facilitados por el ORSTOM, hoy IRD 2002 HYDRACCES, 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.

Se tienen 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.

Vice Ministerio de Defensa Civil (VIDECI)

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

Este sistema de gestión de riesgos lo lleva adelante el Vice Ministerio de Defensa Civil que tiene como soporte el Sistema Nacional de Alerta Temprana de Desastres (SNATD) que tiene como soporte técnico la plataforma DEWETRA (Figura 19).

#### Sistema Nacional de Alerta Temprana de Desastres (SNATD)

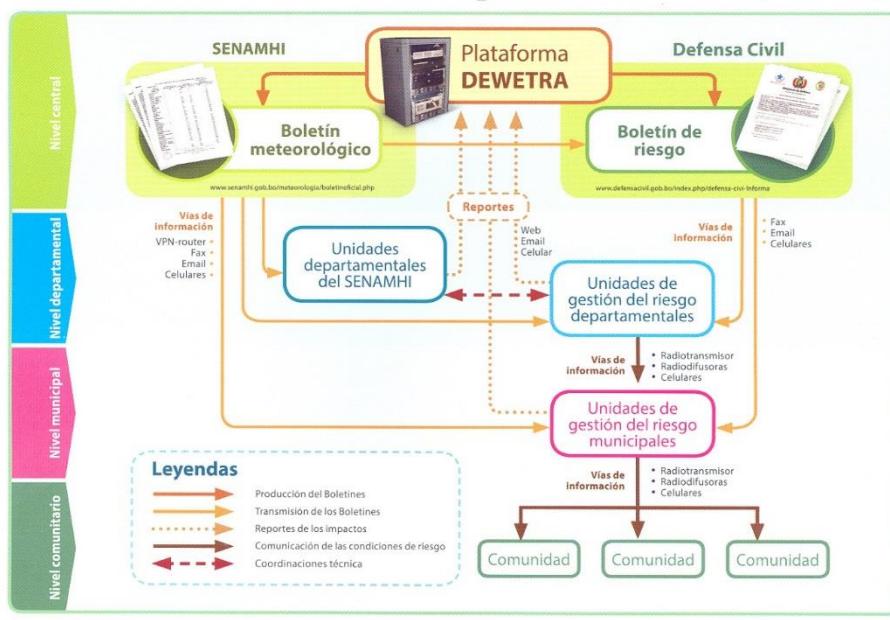


Figura 19. Sistema Nacional de Alerta Temprana de desastres (SNATD)

### 6.2.3. Brasil

**Centro de Predicción de Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC), 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 temporal 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 disposición gráficos tipo boxplot o diagrama de caja como un producto de monitoreo 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 Brasil, Figura 20. [www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br)

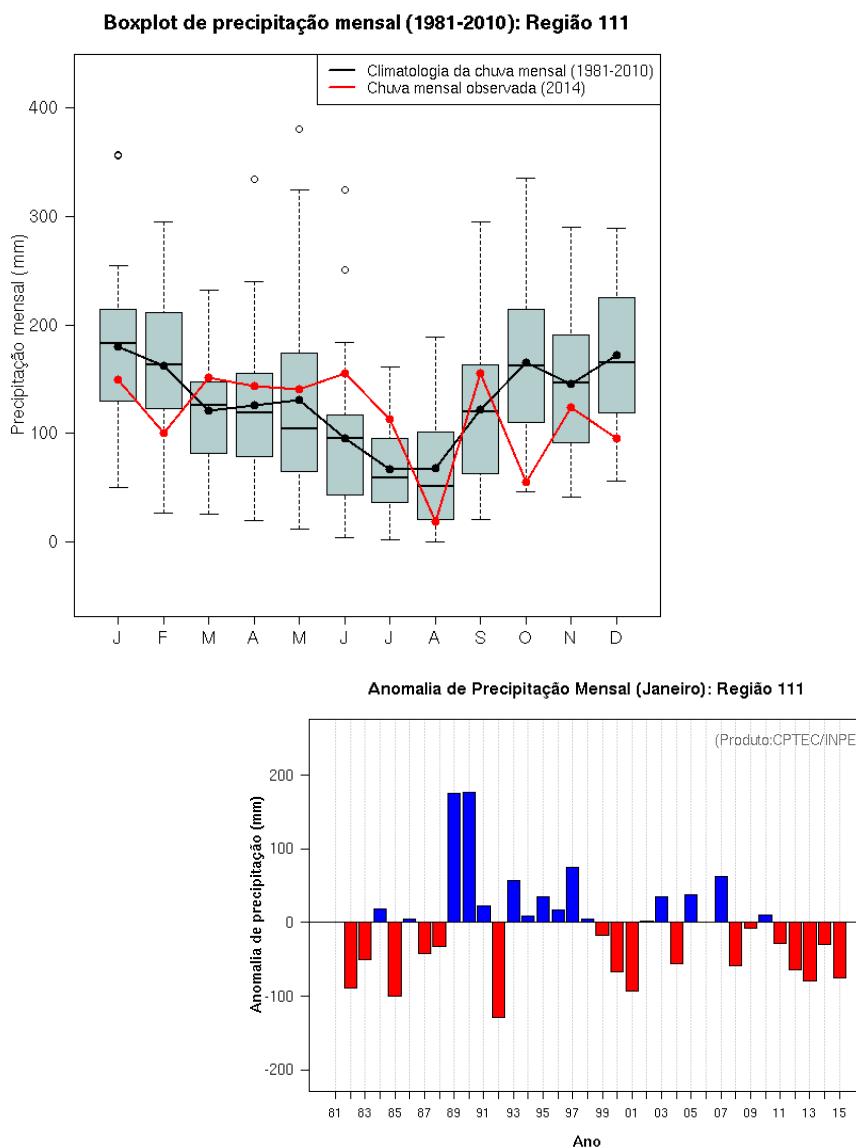


Figura 20a. Análisis de precipitaciones por regiones, CPTEC

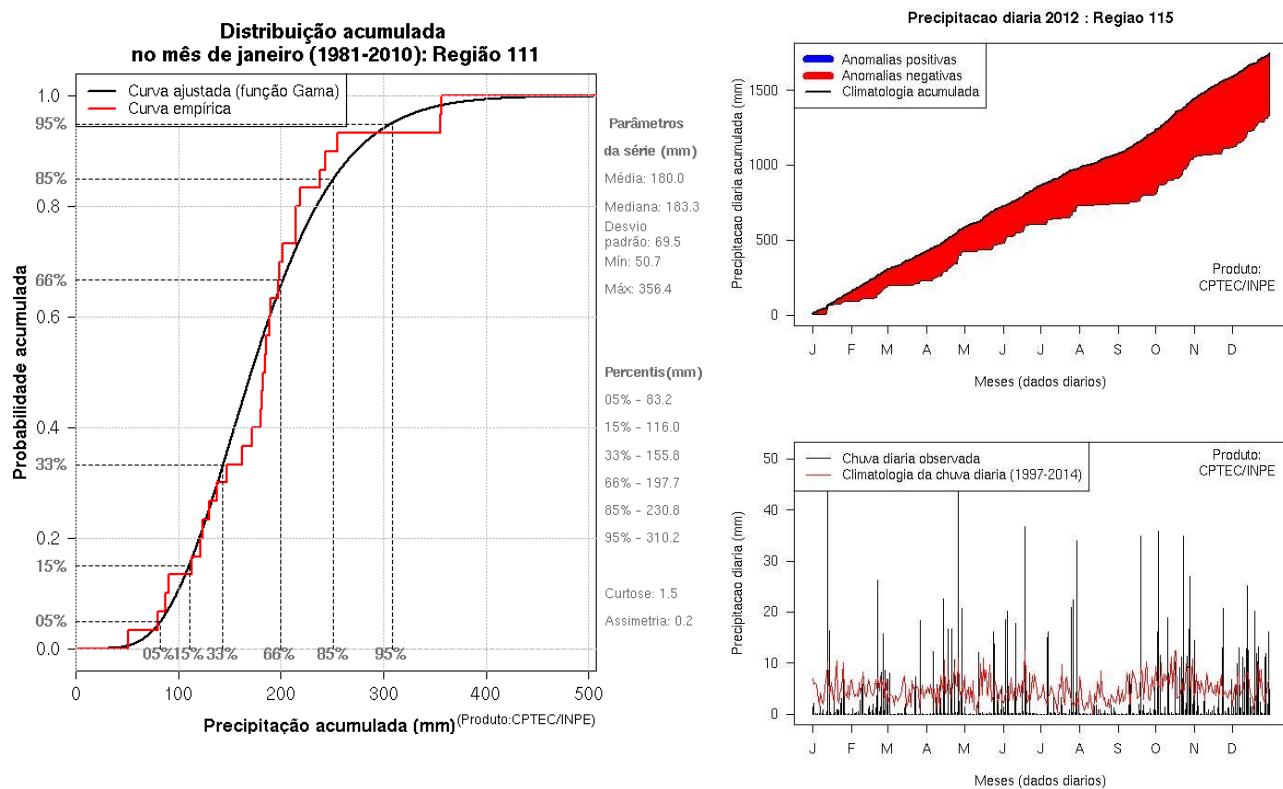


Figura 20b. Análisis de precipitación por regiones, CPTEC

En un modelo de cooperación interinstitucional de varias instituciones del Brasil, en la Figura 21 puede observarse un análisis conjunto sobre la precipitación acontecida en la subcuenca del Río Grande, Paraná superior, Brasil, durante un año hidrológico.

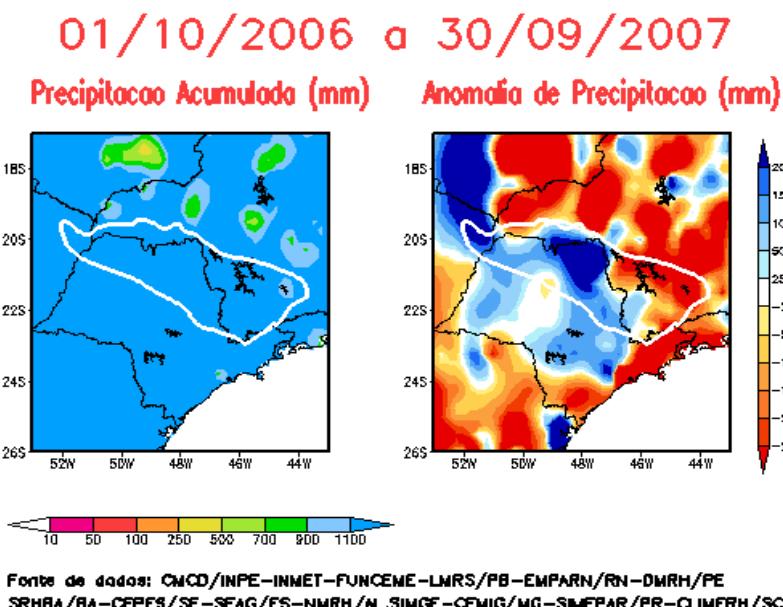


Figura 21. Análisis de precipitación en la subcuenca del Río Grande, en base a una cooperación interinstitucional

## Instituto Nacional de Meteorología (INMET)

El INMET en su portal de INTERNET promociona como nuevos productos climáticos la información de precipitación acumulada en los últimos días, así, presenta mapas de precipitación acumulada para todo el Brasil para períodos específicos recientes con actualización diaria (Figura 22).

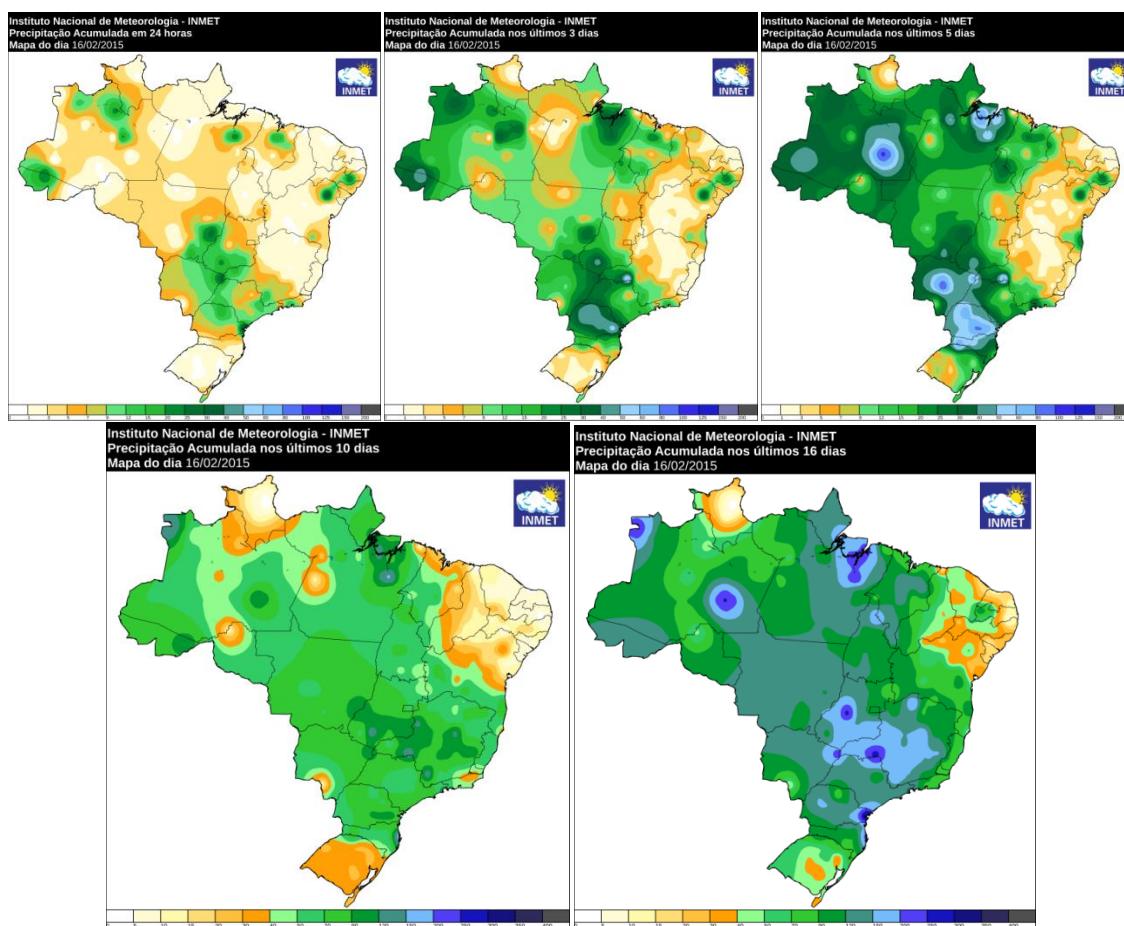


Figura 22. Precipitación acumulada para 1, 3, 5, 10 y 16 días

Entre otros productos climáticos, el INMET también pone a disposición productos probabilísticos de la precipitación acumulada trimestralmente con actualización en tiempo real, está disponible para una cantidad de estaciones meteorológicas que se muestran en la Figura 23, incluyendo varias estaciones meteorológicas ubicadas en la Cuenca del Plata, y cuya expresión de probabilidad climatológica y probabilidad prevista para el trimestre próximo se presenta en la Figura 24, disponible en [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)

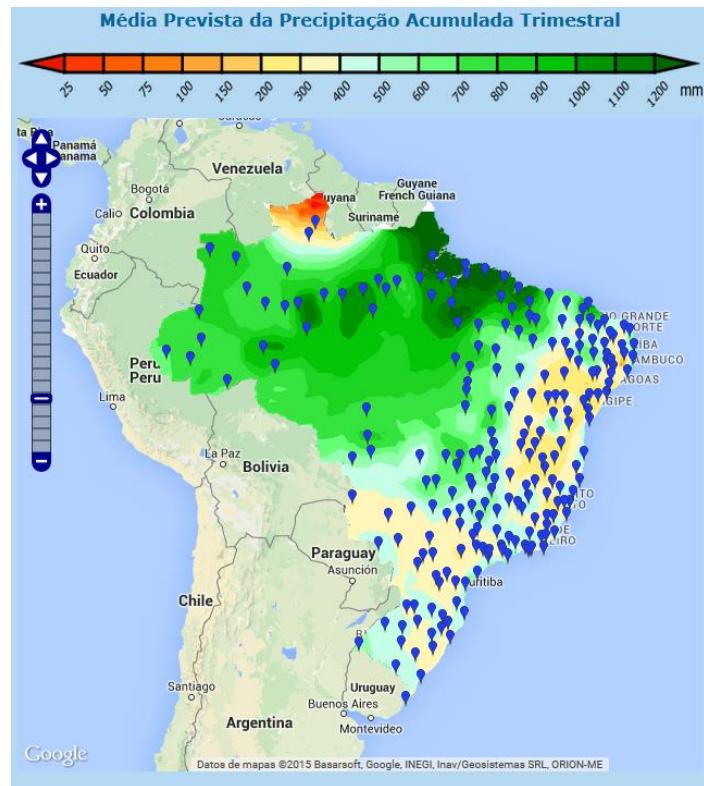


Figura 23. Estaciones con tratamiento y previsión probabilística

**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 24. Caso concreto para la estación meteorológica Ivaí, Paraná

## Agencia Nacional de Aguas (ANA)

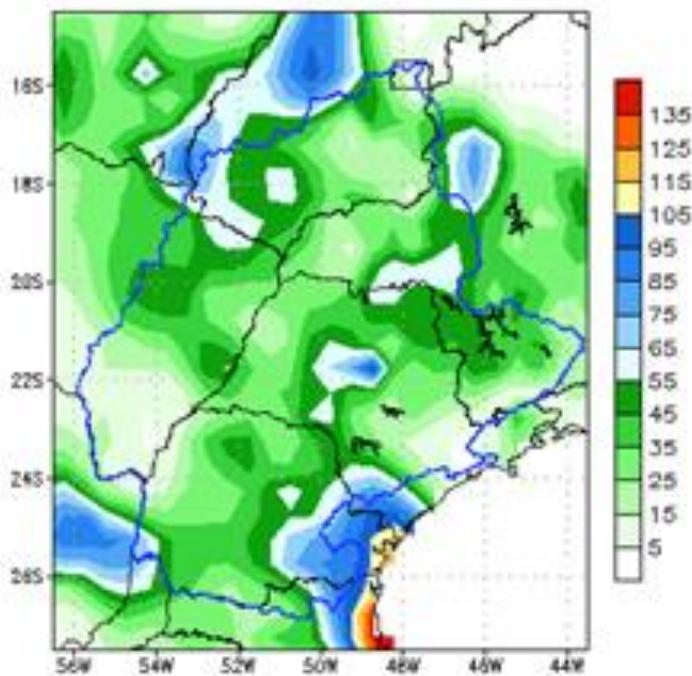
La ANA es la institución que implementa, operacionaliza, controla y examina los instrumentos de gestión creados por la Política Nacional de Recursos Hídricos en Brasil. De esta forma su espectro de regulación sobre pasa los límites de las cuencas hidrográficas con ríos de dominio de la Unión, pues alcanza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

La ANA es el operador del Sistema Nacional de Informaciones sobre los Recursos Hídricos (SNIRH) donde está disponible el Sistema de Monitoreo Hidrológico (telemétrico) entre otras informaciones. Algunos productos hidroclimáticos son generados por la ANA en colaboración con otras agencias fuera de la cuenca, un ejemplo es la colaboración con el Climate Prediction Center (CPC), NOAA. Particularmente un análisis de la precipitación para las 12 regiones hidrológicas del Brasil (Figura 25). Comportamiento de las lluvias acumuladas, según datos pluviométricos, para períodos de 1, 7, 30, 90 y 180 días, con sus respectivas anomalías (Figura 26). También pronósticos de lluvias acumuladas por Regiones Hidrológicas para períodos de 1 y 2 semanas (Figura 27).



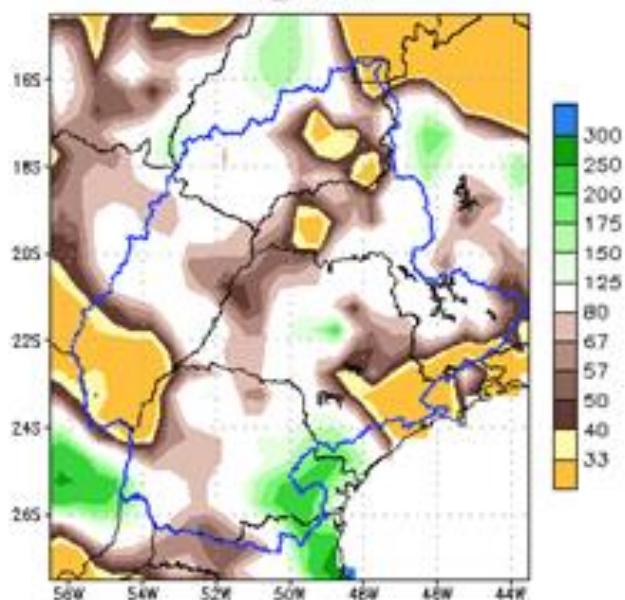
Figura 25. Regiones hidrológicas de Brasil, ANA

7-day Accumulated Prcp (mm) 09 FEB 2015 – 15 FEB 2015  
rh\_parana



Data Source: CPC Unified (gauge-based) Precipitation

7-day Accumulated Prcp % of Normal 09 FEB 2015 – 15 FEB 2015  
rh\_parana



Data Source: CPC Unified (gauge-based) Precipitation  
Climatology (1981–2010)

Note: Areas which receive on average 1mm/day are masked out.

Figura 26. Análisis de precipitación, acumulado en 7 días (arriba), y su anomalía (abajo), Cuenca del Plata, CPC-ANA

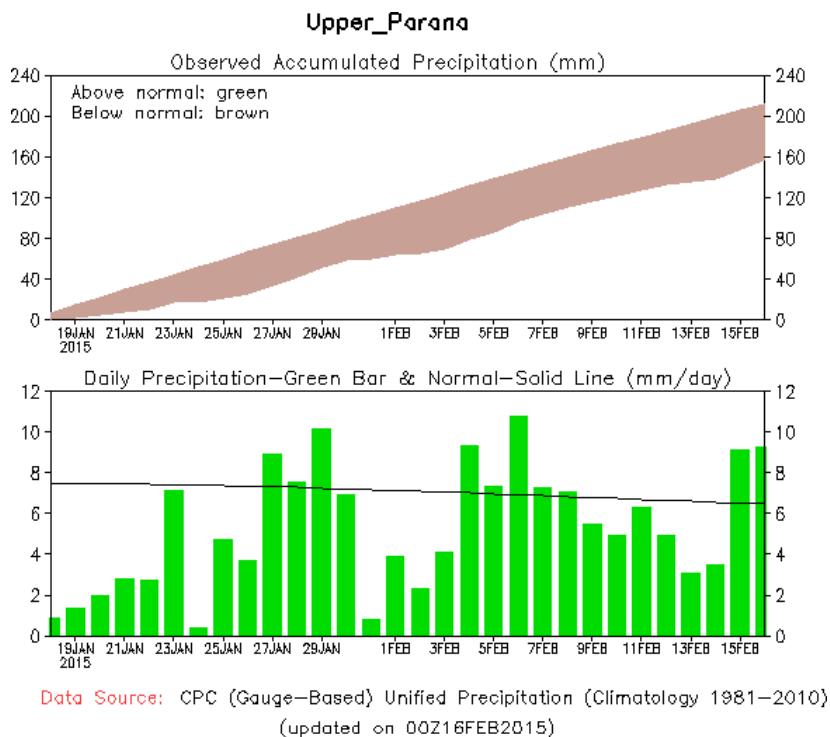


Figura 27. Lluvia diaria acumulada en 30 días en la Cuenca Alta del Río Paraná en base a datos pluviométricos CPC, NOAA.

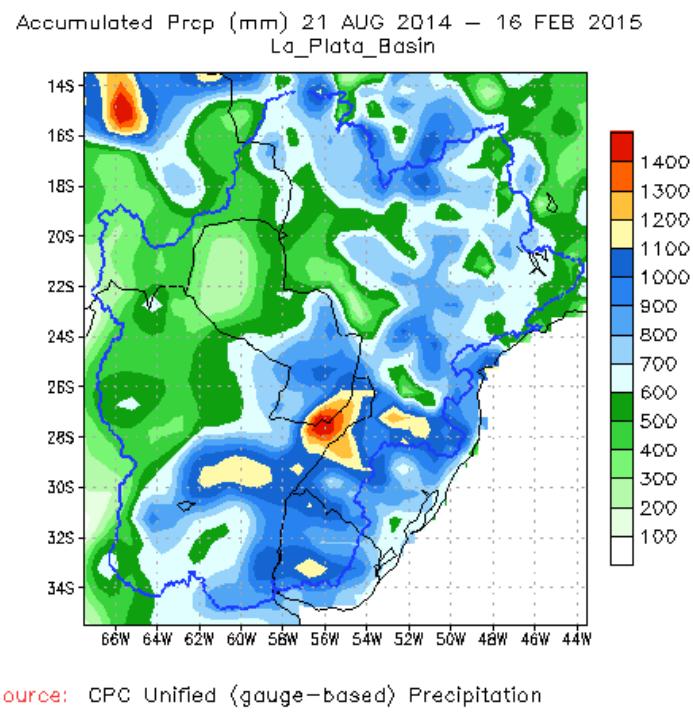


Figura 28. Lluvia total acumulada en 180 días en la Cuenca del Plata en base a datos pluviométricos CPC, NOAA.

## 6.2.4. Paraguay

### Dirección Nacional de Aeronáutica Civil

La Dirección de Meteorología e Hidrología dependiente de la Dirección de Aeronáutica Civil (DINAC) es la encargada de la emisión de alertas de origen meteorológico, particularmente aquellas la relacionadas con las producidas por tormentas severas que producen situaciones riesgosas por lluvias intensas, fuertes vientos y caída de granizos. 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 <http://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 las observaciones de radiosondeo en Asunción e implementando el Sistema LEAS (Leading Environmental Analysis and Display System), que facilita el despliegue de datos e imágenes de sistemas de observación automáticos, radar, 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 Mcal. Estigarribia, la implementación de los Servicios Climáticos y la incorporación de Recursos Humanos calificados.

Otro desafío para la DMH representa el fortalecimiento de la hidrología operativa en el Paraguay, ya que en la actualidad presenta debilidades tales como una red hidrométrica de baja densidad y heterogéneamente distribuida, también una dramática carencia de mediciones de caudal, y tal como lo indican diferentes informes de Recursos Hídricos del 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 en el fortalecimiento del sector se plantea avanzar en el conocimiento y pronóstico de inundaciones y sequías, estudiar la disponibilidad y 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 presentan de varias formas (Figura 29), y en forma conjunta con la ANNP (Figura 31)

## Comportamiento de la altura diaria del Rio Paraguay

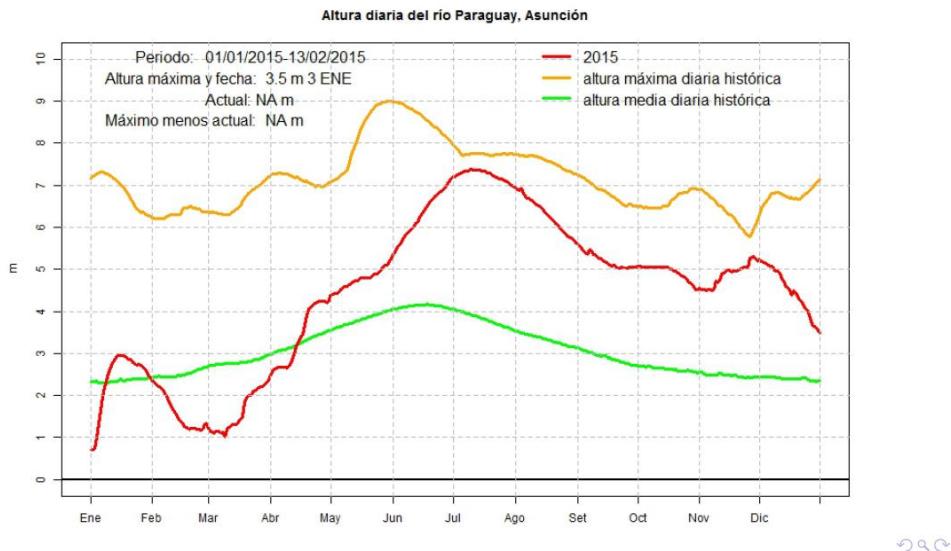
DIRECCION NACIONAL DE  
AERONAUTICA CIVILGOBIERNO NACIONAL  
Construyendo Juntos Un Nuevo RumboDMH Dirección de  
Meteorología e  
Hidrología

Figura 29. Comportamiento diario del Río Paraguay en Asunción, DINAC, 2015

### 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, así dispone de varios puntos del Río Paraguay en el tramo paraguayo y en el tramo fronterizo (Figura 30), 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 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 puede observarse estos informes es: <http://www.annp.gov.py>

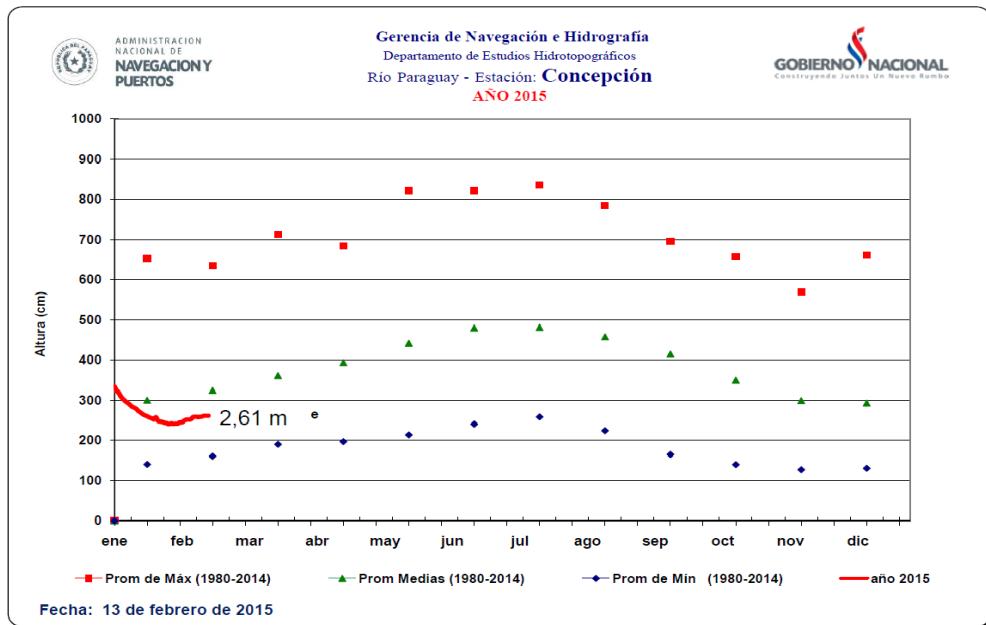


Figura 30. Altura hidrométrica diaria del Río Paraguay en Concepción, Paraguay, ANNP

La ANNP conjuntamente con la DINAC lleva adelante un análisis hidroclimático del Río Paraguay en situaciones de fases definidas del ENSO.

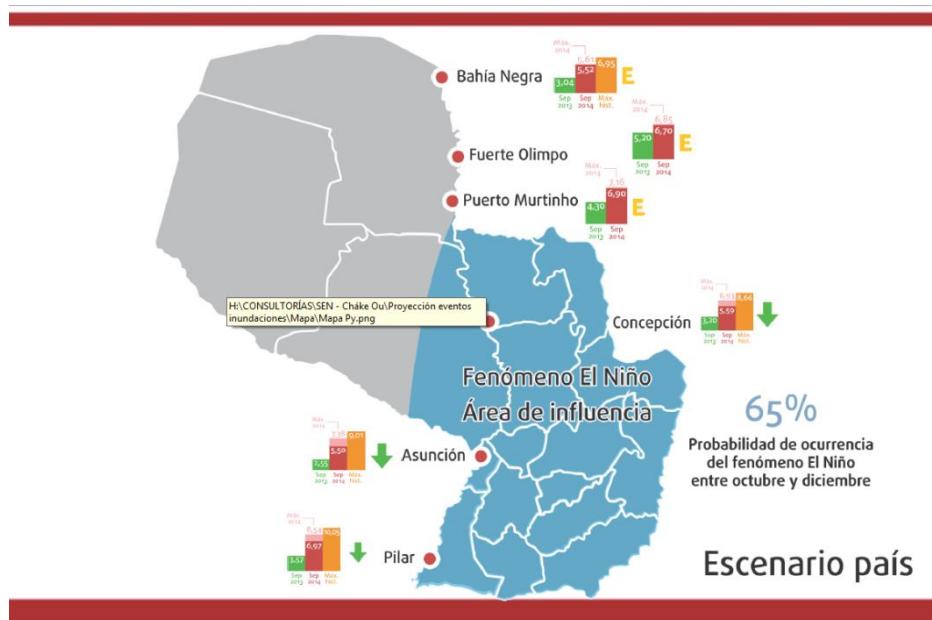


Figura. 31 Boletín de Perspectiva Climática e Hidrológica, Set 2014, ANNP-DINAC

La Dirección de Meteorología e Hidrología de la DINAC dispone en su portal el comportamiento diario del Río Paraguay comparando con situaciones extremas de inundaciones y estiajes.

## 6.2.5. Uruguay

### Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET)

Los Servicios Climáticos en Uruguay son diversos, a modo de ejemplo se observa lo elaborado por el INUMET, muestra los valores mensuales de precipitación acumulada y su anomalía correspondiente (Figura 32), utilizando todos los pluviómetros que constituyen la Red Pluviométrica Nacional. Abajo se muestra una estadística de eventos extremos de precipitación disponible por localidad, Figura 33, estos productos climáticos están disponibles en [www.meteorologia.com.uy/ServCli/mapasPrecipH](http://www.meteorologia.com.uy/ServCli/mapasPrecipH)

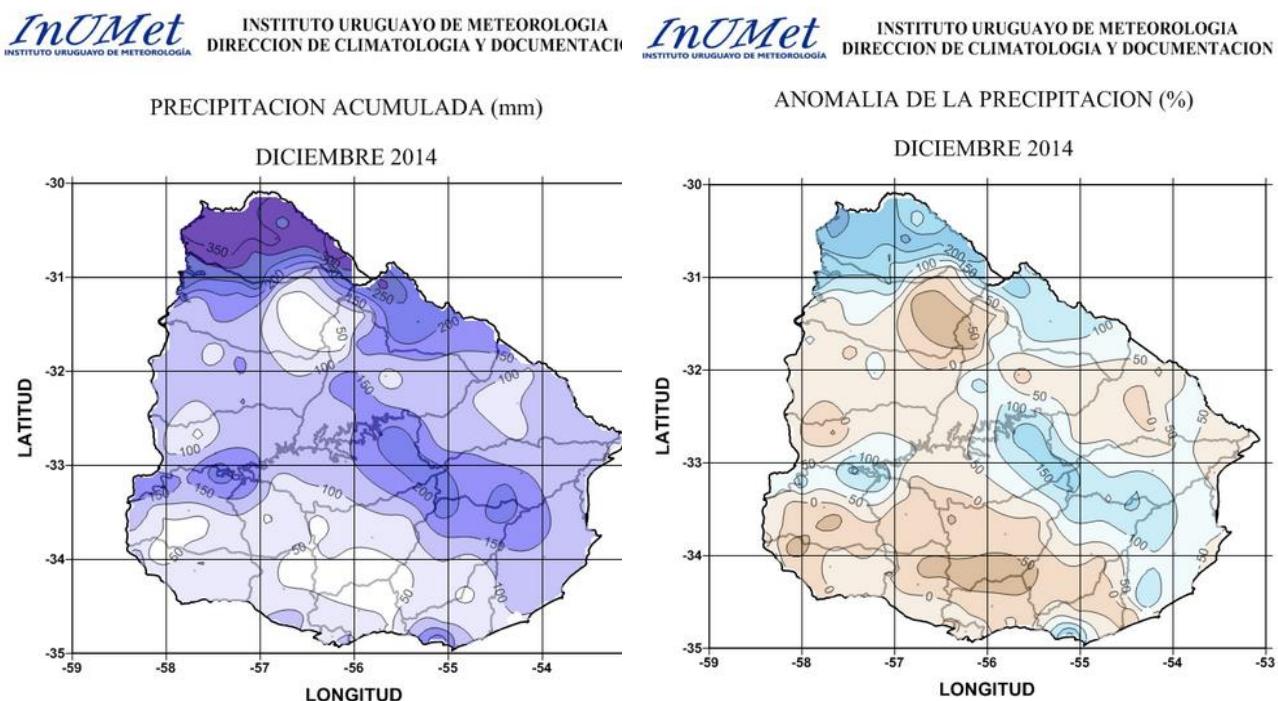


Figura 32. Precipitación mensual acumulada (izq.) y anomalía (der.), INUMET, 2015

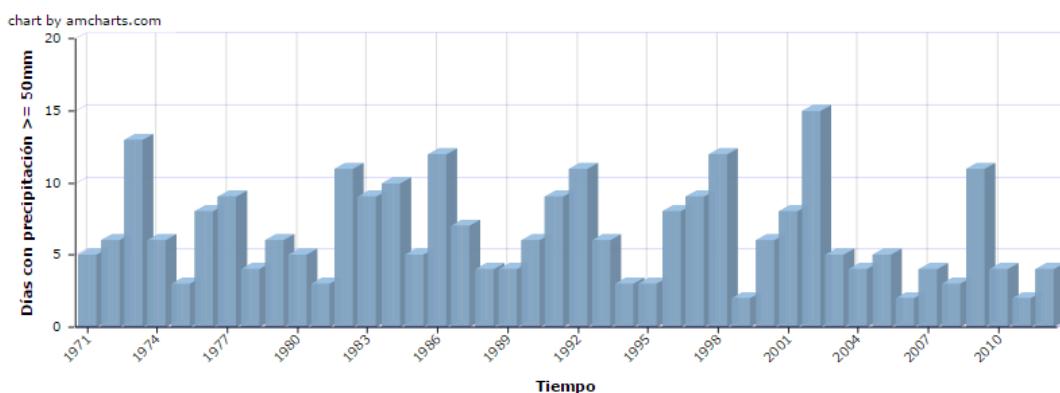


Figura 33. Record estadístico de precipitaciones intensas por localidad

## 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 5 estaciones de INIA.

**Acumulado durante Noviembre 2014 - Enero 2015**

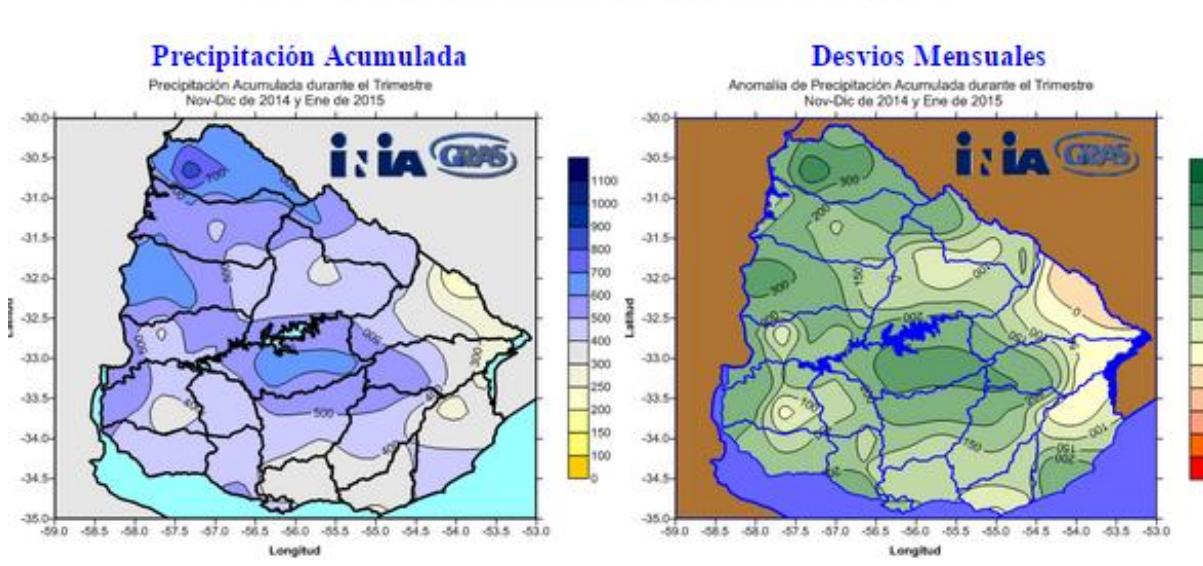


Figura 34. Precipitación Acumulada y Desvíos para un trimestre, INIA, 2015

El INIA difunde un Balance hídrico de suelos calculado en función a la precipitación, cálculos de evapotranspiración y estado de humedad del suelo, y así, obtiene como salida un índice de bienestar hídrico para 10 d y mensual, con datos de 84 estaciones meteorológicas (Figura 35), disponible en [www.inia.uy](http://www.inia.uy)

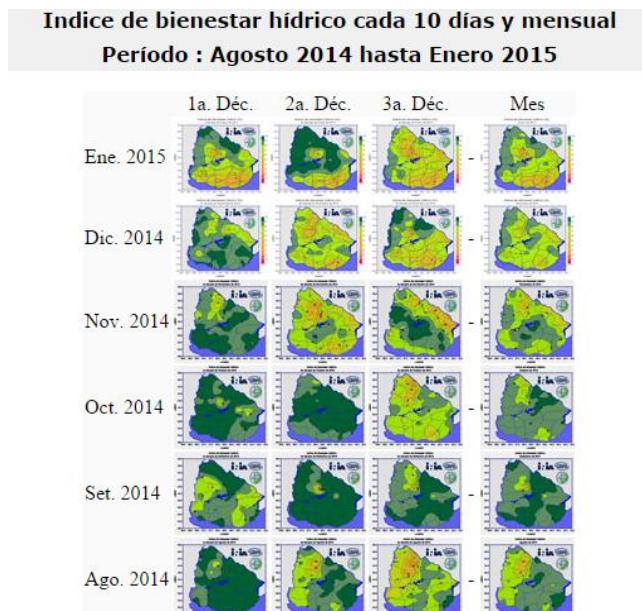


Figura 35. Índice de bienestar hídrico

## UdelaR–DINAGUA–SINAЕ

### 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 km<sup>2</sup> y TC=54h 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 dan 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 36).

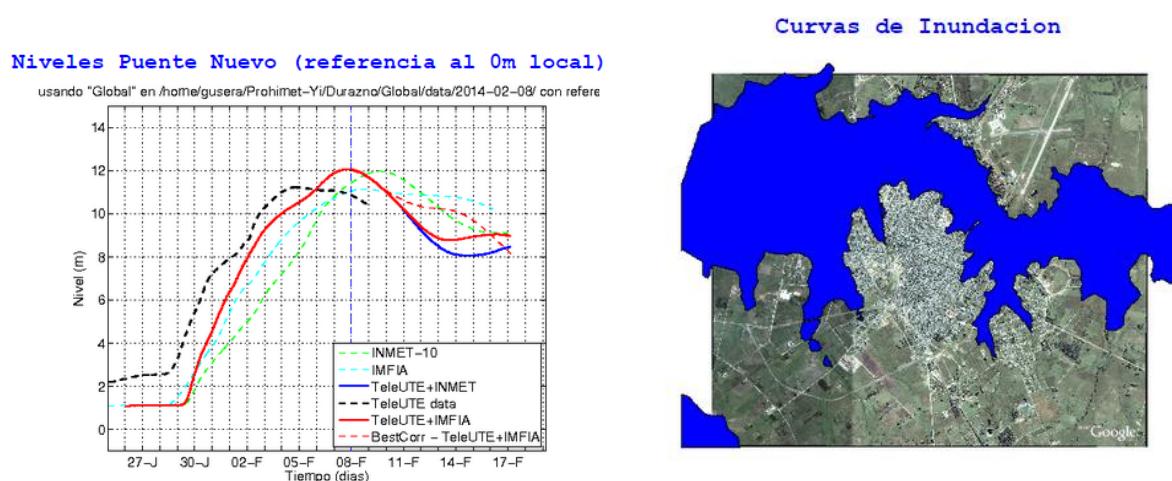


Figura 36. Nivel del Río Yí en el Puente Nuevo, Durazno (izq) y Curvas de inundación sobre foto aérea de la Ciudad de Durazno (der), UdelaR 2014

La XII Reunión del Grupo de Trabajo sobre Hidrología y Recursos Hídricos de la AR-III, Uruguay, marzo 2014, concluyó con apoyar la propuesta de Uruguay para extender el actual Sistema de Alerta Temprana (SAT) de previsión de niveles del río Yi 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.

### 6.2.6. 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 ourrencia de “El Niño” de 1997-98 y 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 que esta era una zona con alta señal del ENOS. Estos Foros se realizaban en forma consensuada por los especialistas de las instituciones participantes y seguidamente se presentaban a los usuarios presentes con 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 37 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 y por el INMET/CPTEC en Brasil, DMH en Paraguay (Figura 38). Actualmente estos pronósticos o tendencias climáticas son llevados a cabo por especialistas climatólogos de diversas instituciones en distintos los países, en base a análisis de condiciones actuales atmosféricas y oceánicas globales y regionales, análisis estadísticos locales y a las salidas de modelos climáticos globales.

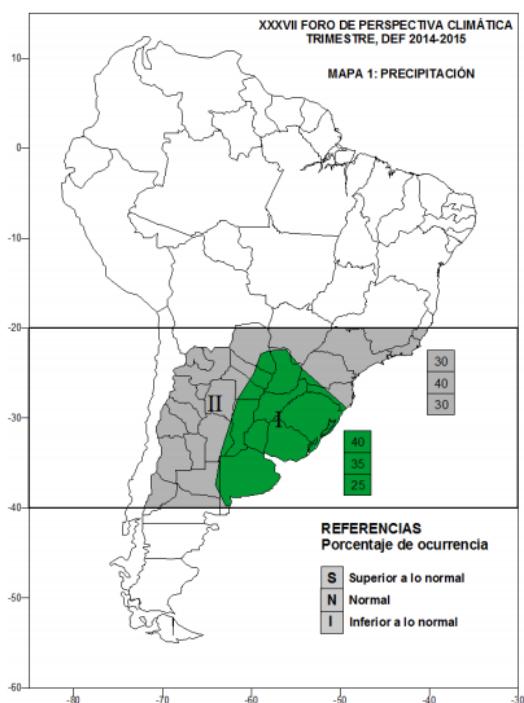


Figura 37. Conclusiones del “XXXVII Foro Climático Regional de Perspectiva Climática para el Sudeste de Sudamérica”, 8-9 diciembre 2014, Montevideo, Uruguay.

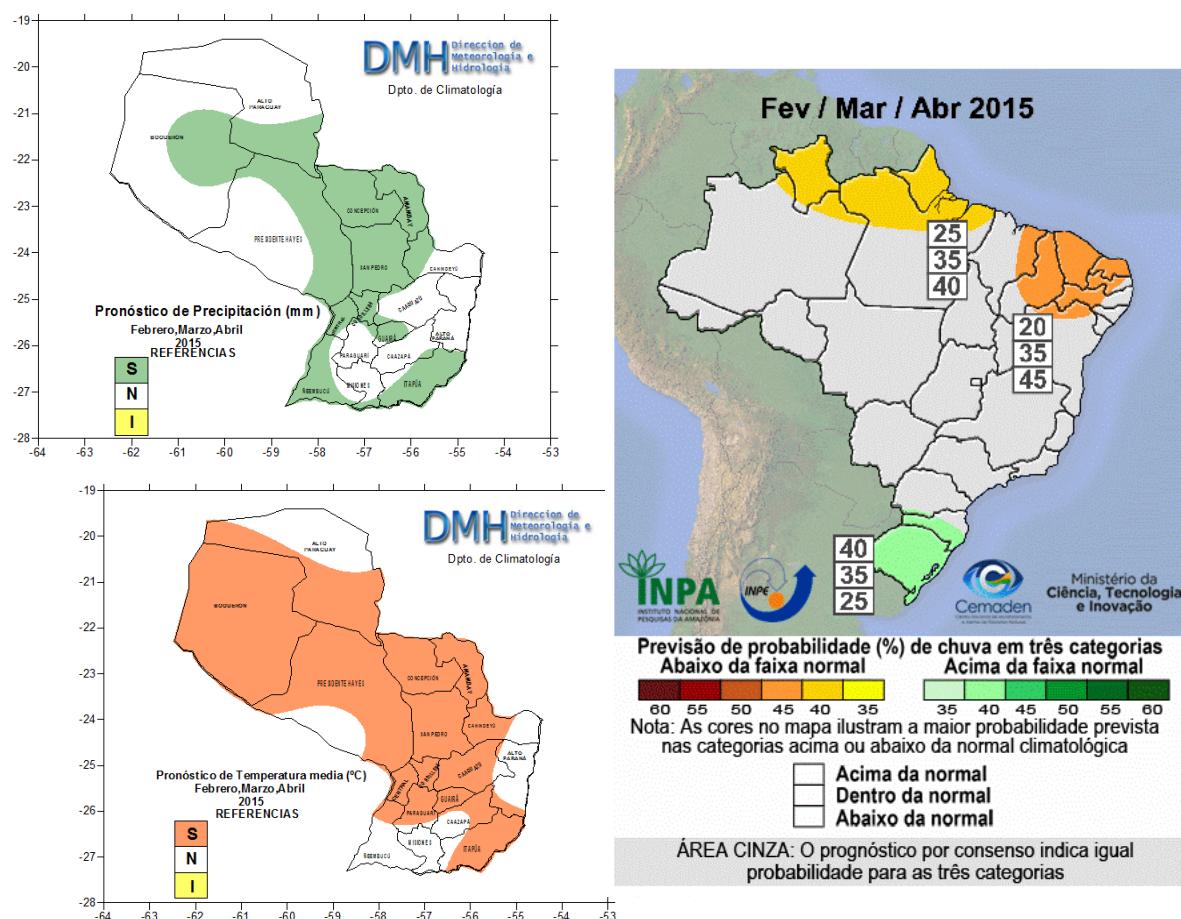
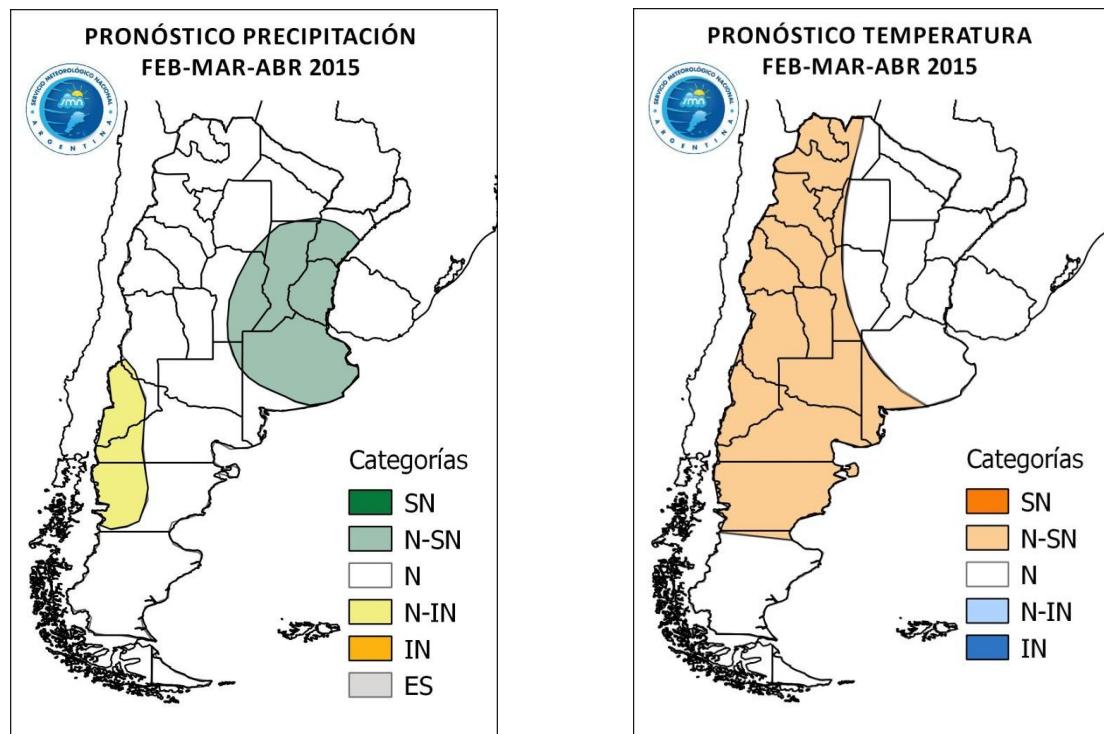


Figura 38. Resultados de Foros Climáticos realizados recientemente en Argentina, Brasil y Paraguay.

En un principio los resultados de estos Foros, referidos fundamentalmente a pronósticos de la temperatura media y 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 39).

Los resultados de los Foros de Perspectiva Climática continúan siendo un producto climático muy requerido por el sector de usuarios de la información climática, así, se observa que el sector agrícola, energía, agua, salud o emergencias, realizan consultas permanentemente con sus respectivos Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales sobre los resultados más recientes de los mismos.

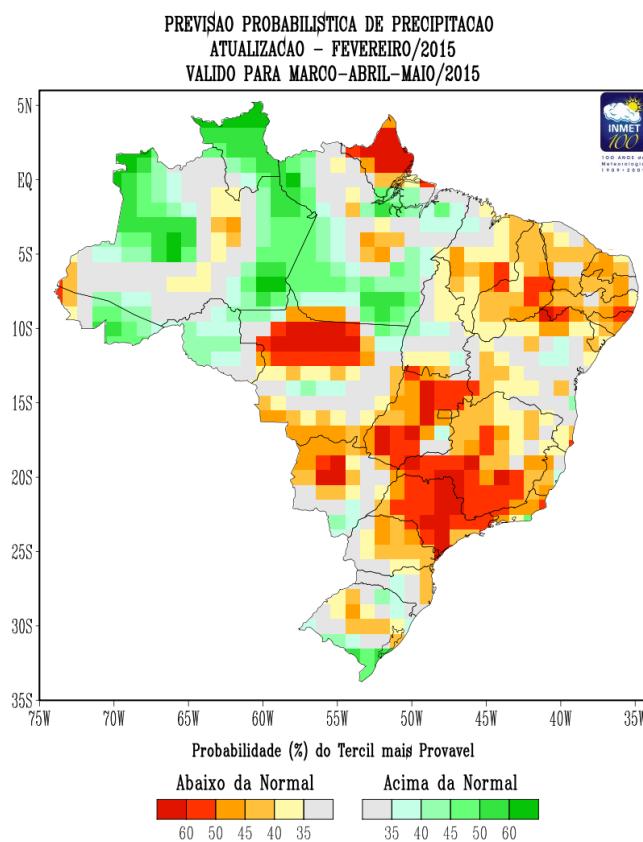


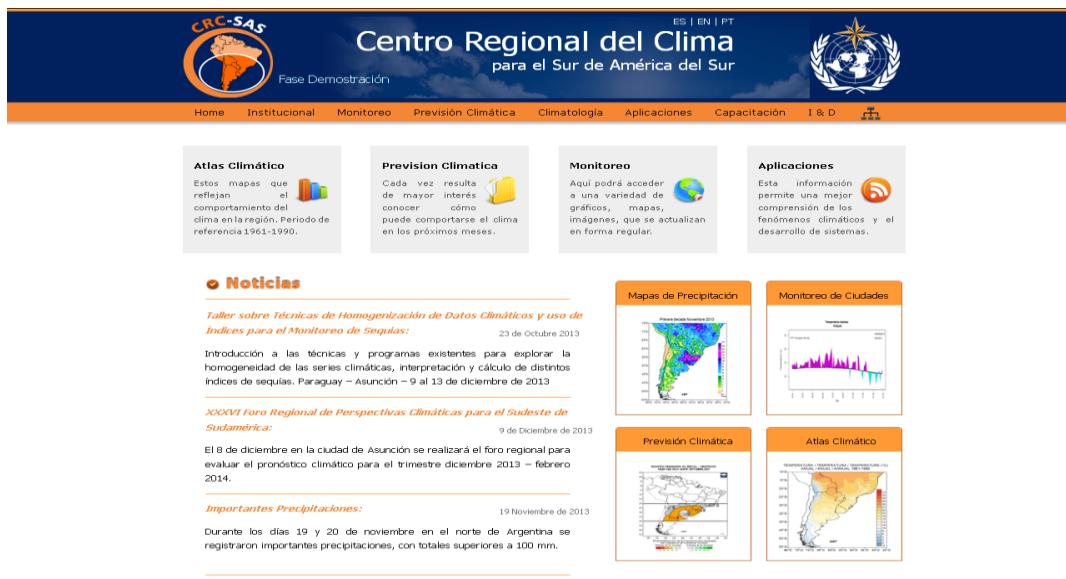
Figura 39. Modelo estadístico de Predicción Climática del INMET, que produce pronósticos estacionales de precipitación total y temperatura media para todo el Brasil.

### 6.2.7. 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 otros usuarios de los países situados en la región sur de América del Sur (Figura 40). (<http://www.crc-sas.org>).



a)



b)

Figura 40. a) Dominio de los CRC en América del Sur, y b) presentación de CRC-SAS

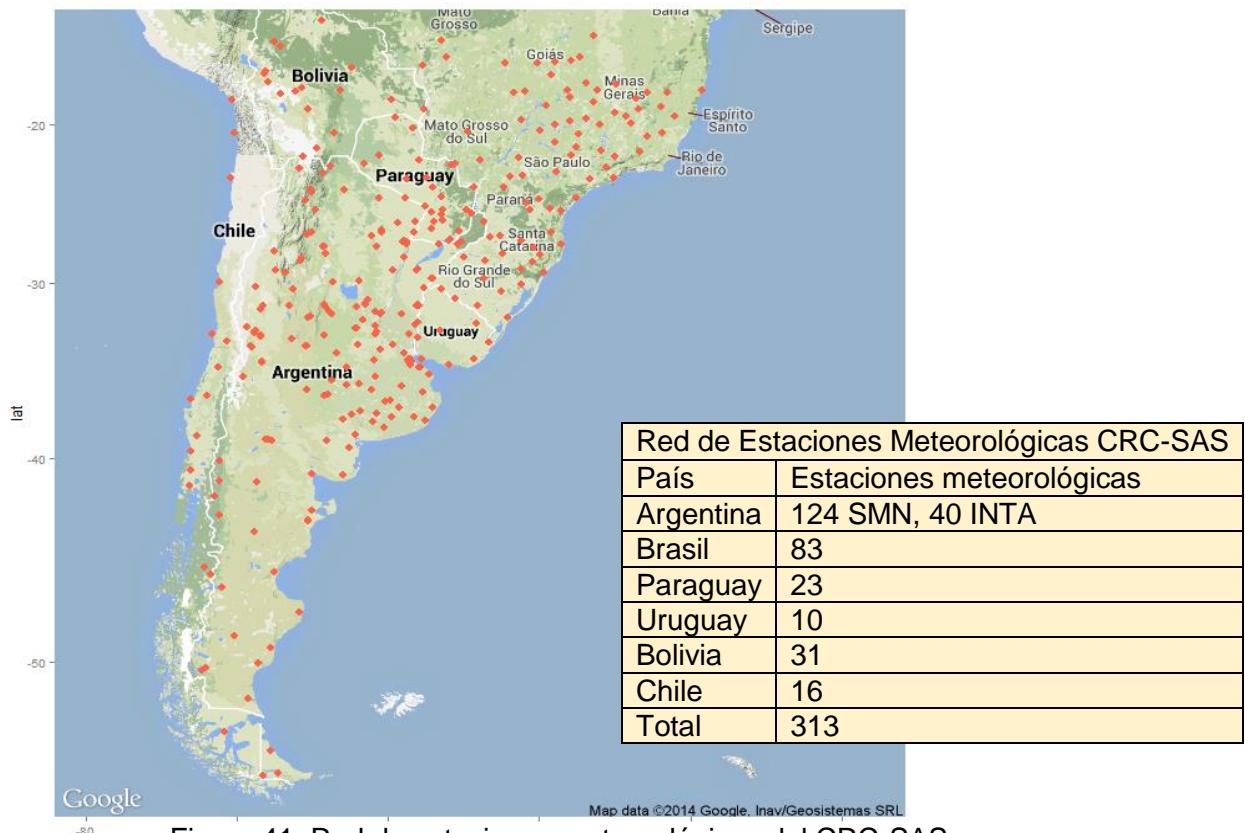


Figura 41. Red de estaciones meteorológicas del CRC-SAS

Los Centros Regionales del Clima (CRCs) serán Centros de Excelencia, designados por la CSB y la CCI, para cumplir funciones a escala regional, entre las cuales: *Servicios operacionales de datos, Actividades operacionales pronóstico a mediano plazo, Actividades operacionales de monitoreo climático, Entrenamiento en el uso de productos y servicios operacionales del CRC, Coordinación entre CRCs, CMPs y SMHNs en la región, Aplicaciones climáticas e Investigación y Desarrollo*. Los CRCs serán complementarios de y en apoyo a los SMHNs, quienes divulgarán todas las Alertas y los productos a escala nacional.

Los CRCs propuestos en la AR III son tres, CRC-SAS, CRC-OSA y CRC-NAS, para el Sur, Oeste y Norte, respectivamente.

El CRC-SAS tiene la siguiente organización; Países Responsables Argentina y Brasil, Países Miembros Paraguay y Uruguay y Países Asociados Bolivia y Chile e Instituciones colaboradoras a la DCAO/UBA, CONICET/CENPAT, CPTEC, INTA, CONICET/CIMA y SIMEPAR. El Comité Ejecutivo está integrado 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 el GTP4: Actividades de investigación asociadas, incluyendo mecanismos de interface con los usuarios.

La página web del CRC-SAS está en fase de demostración. Respecto al 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 una record desde 1961 al presente, totalizando 313 estaciones meteorológicas (Figura 41).

El control de calidad cuenta con un “superset” de controles en la literatura y usados en la región, implementados en R (software abierto y libre) y se prevén fondos del BID para entrenar personal de los SMHNs de los países miembros de CRC-SAS.

La Figura 42 muestra uno de los productos climáticos disponibles en el CRC-SAS referidos temperatura y precipitación en el dominio del mismo.

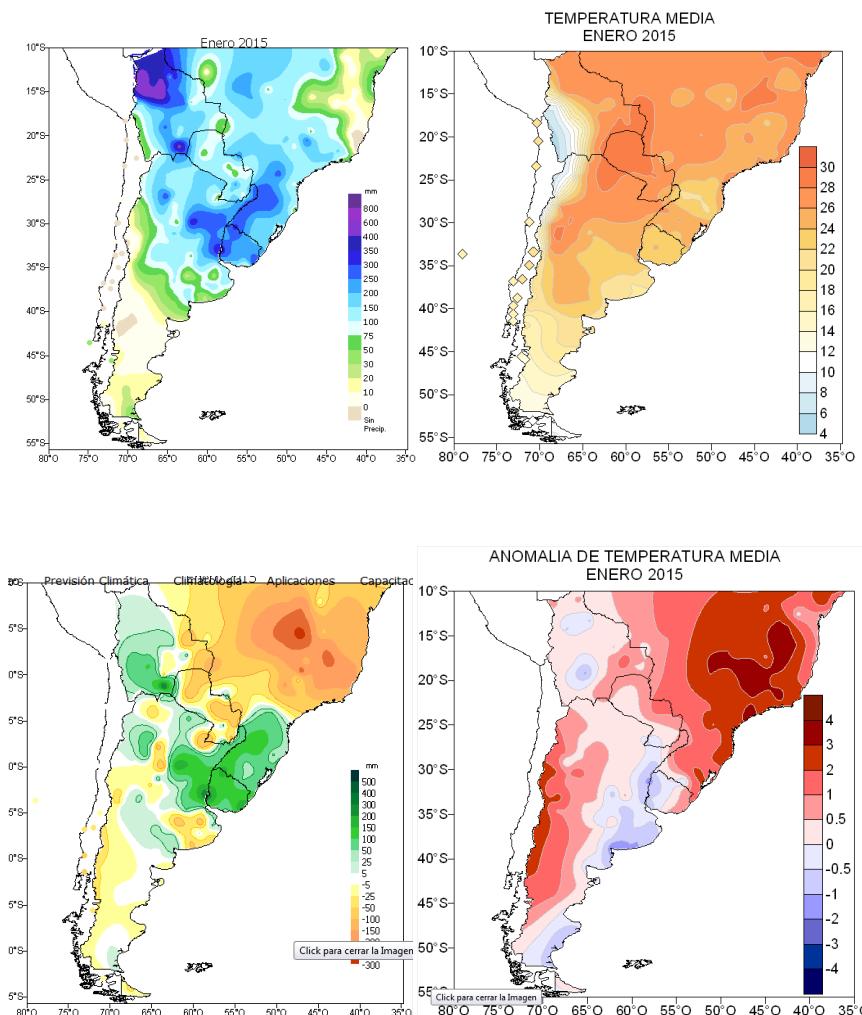


Figura 42. Precipitación total acumulada (mm) y temperatura media mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ), Enero 2015 (arriba) y sus respectivas anomalías (abajo), productos disponibles en el CRC-SAS.

### 6.2.8. 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 sensibles 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 organizaciones a adoptar decisiones. La prestación de un servicio requiere un nivel de participación suficiente así como un mecanismo de acceso eficaz y debe responder a las necesidades de los usuarios.

La visión del MMSC consiste en permitir a la sociedad una mejor gestión de los riesgos y 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 43). Los pilares se emplean para mostrar un modelo conceptual, pero en la práctica se produce una superposición de funciones y responsabilidades que deberán coordinarse cuidadosamente.

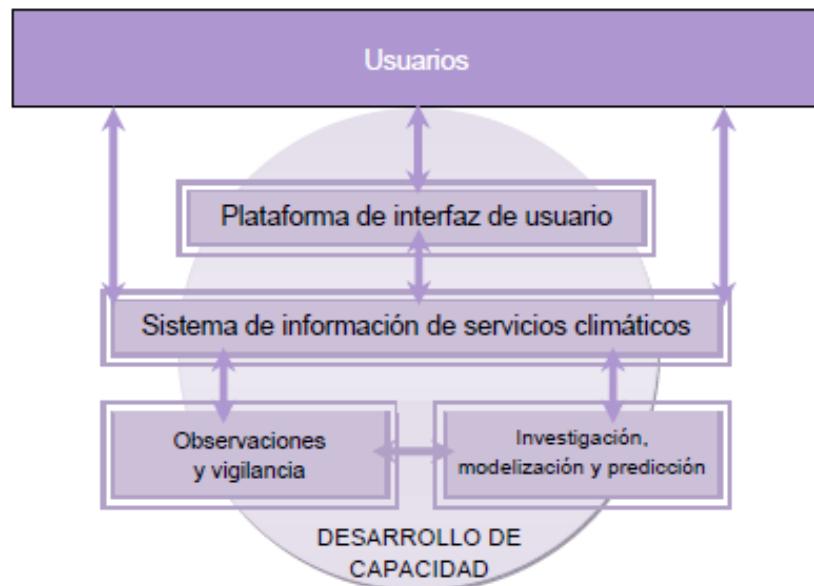


Figura 43. Ilustración esquemática de los cinco pilares del Marco y sus vínculos con las diversas comunidades de usuarios (OMM, 2014).

La Plataforma de interfaz de usuario es el pilar del Marco que proporciona a los usuarios (gobierno, sector privado, etc.), climatólogos y proveedores de datos e información climática una estructura para interactuar a 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, detectar las necesidades de los usuarios, identificar unidades de investigación y generación de productos que colaboren en las actividades y brindar apoyo a los proyectos en ejecución. La prestación de servicios climáticos se lleva a cabo a nivel nacional y subnacional/local así como también a nivel supranacional, en este sentido, quizás sea necesario reforzar la capacidad de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales y de otros organismos que puedan colaborar en el establecimiento de estos servicios, aprovechando al máximo las capacidades existentes y evitando duplicidades.

### 6.2.9 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 salida de los modelos de Predicción Numérica del Tiempo podrían ser muy útiles, más aun en situaciones particulares extremas de inundaciones o sequías. En este sentido son varios los organismos en la Cuenca del Plata que cuentan con modelos operacionales, por ejemplo:

#### El INMET

El INMET corre modelos alta de resolución como el MBAR 10km, COSMO 2,8km y COSMO 7km (Figura 44).

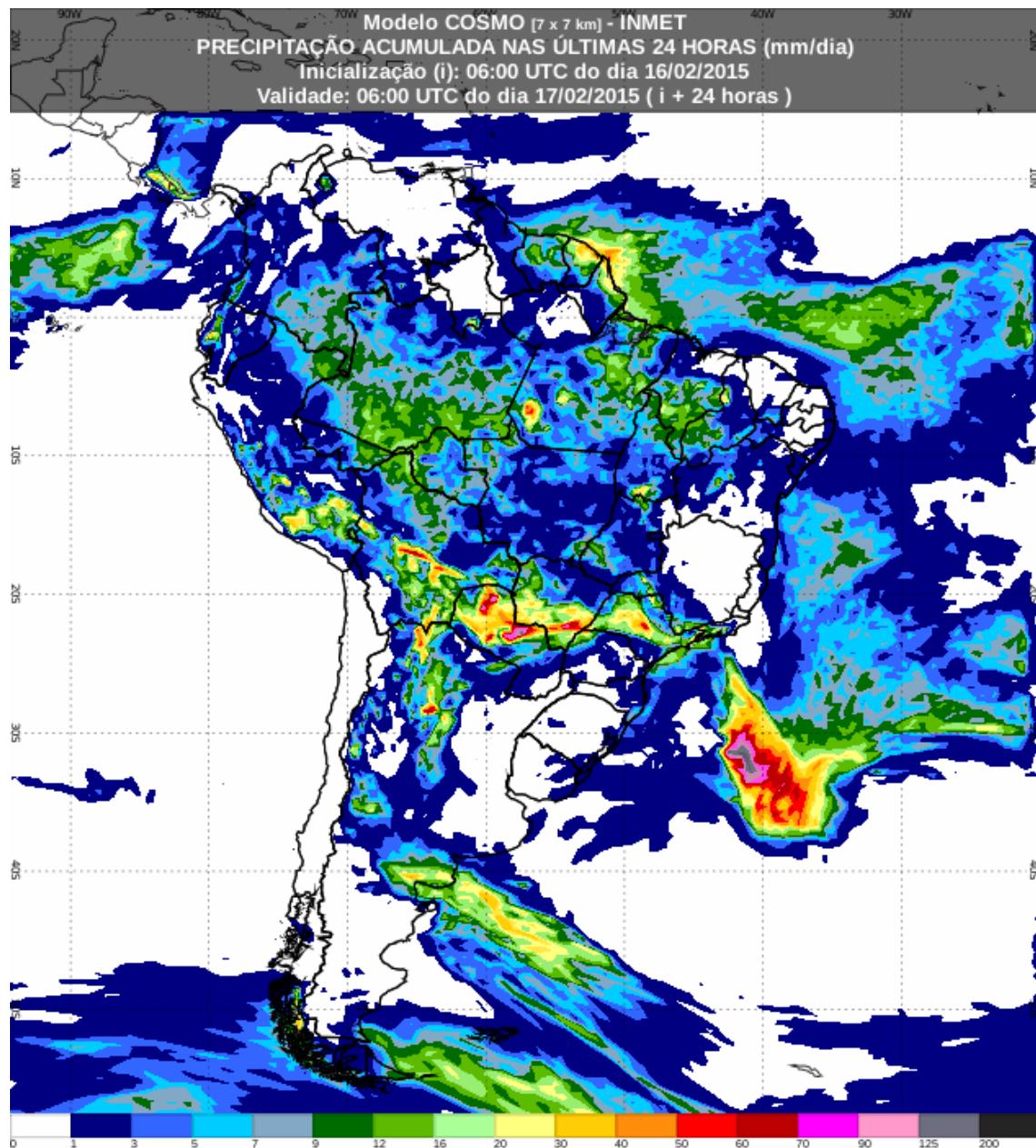


Figura 44. Salida del modelo regional COSMO 7km, INMET

## El CPTEC

Corre varios modelos meteorológicos en forma operativa, entre ellos, el BRAMS 5km, ETA 15km, ETA Ensamble 40km (Figura 45).

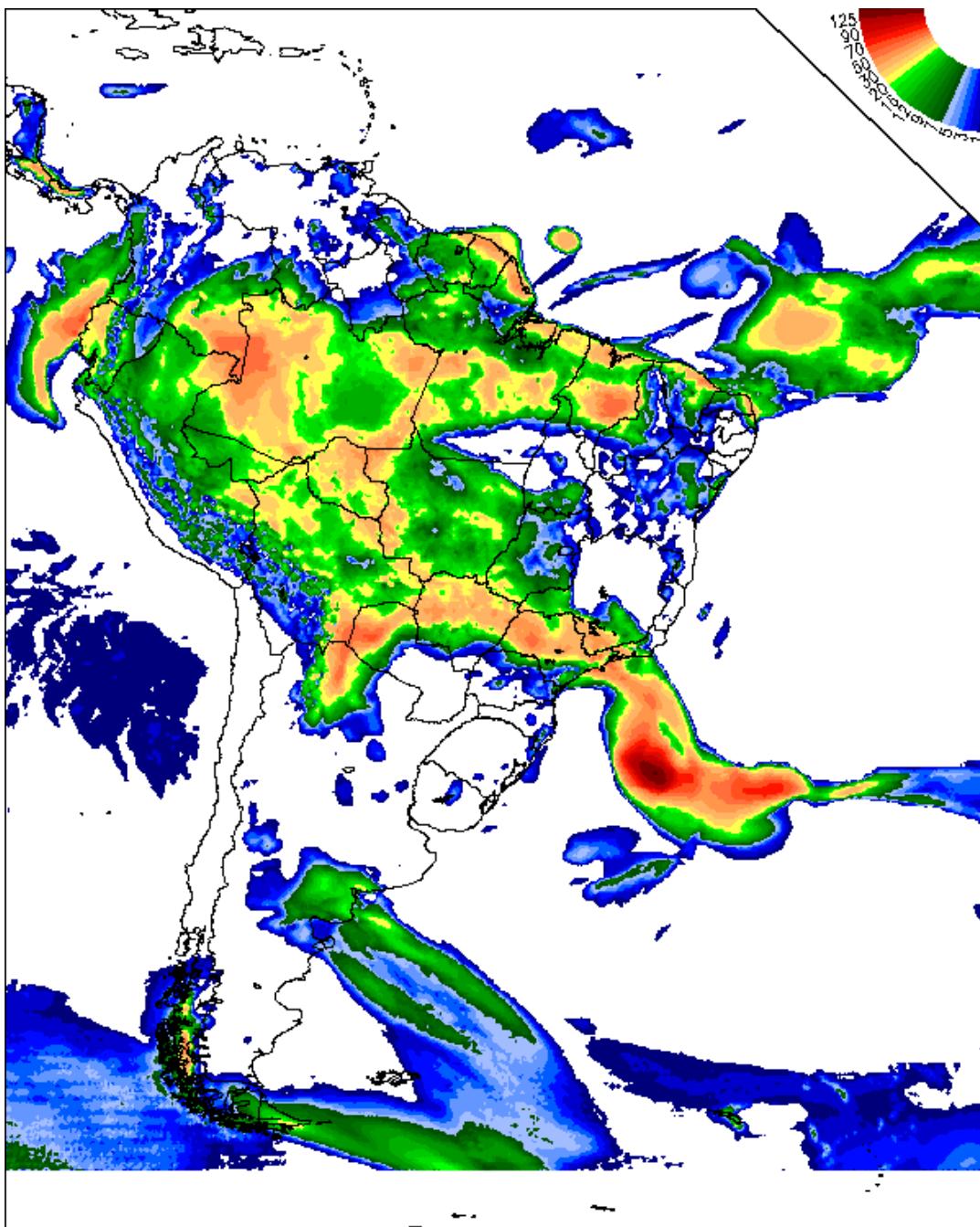


Figura 45. Salida del modelo regional Eta (11 d) 15X15km, CPTEC  
Análisis inicializado en: 16/02/2015-00 UTC Válido para: 17/02/2015-00 UTC  
Variable: Precipitación acumulada en 24h (mm/d)

El SMN

Corre el modelo ETA 40km

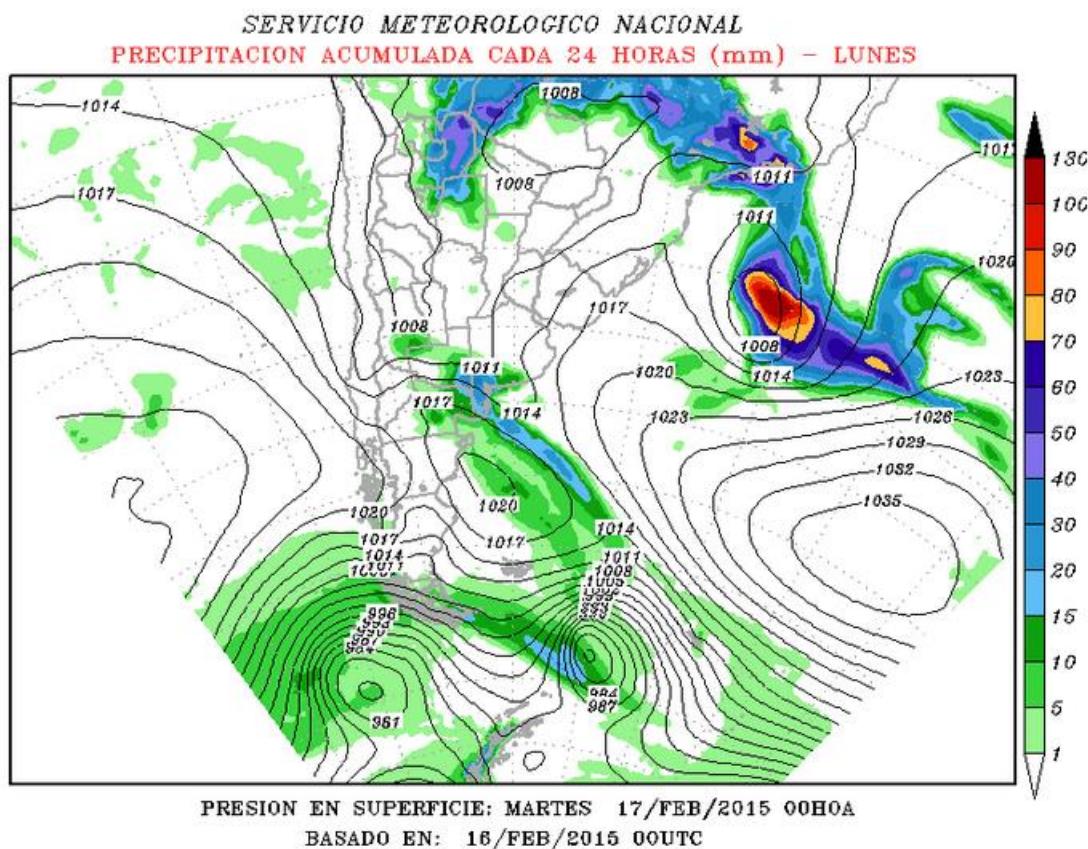


Figura 46. Salida del modelo regional ETA 40km, SMN

## 7. Variabilidad y Cambio Climático

El proyecto establece considerar la relación de las problemáticas identificadas en el ADT con los efectos de la variabilidad y el 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).

### 7.1 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 hidroclimático 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 47). 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 2500 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.

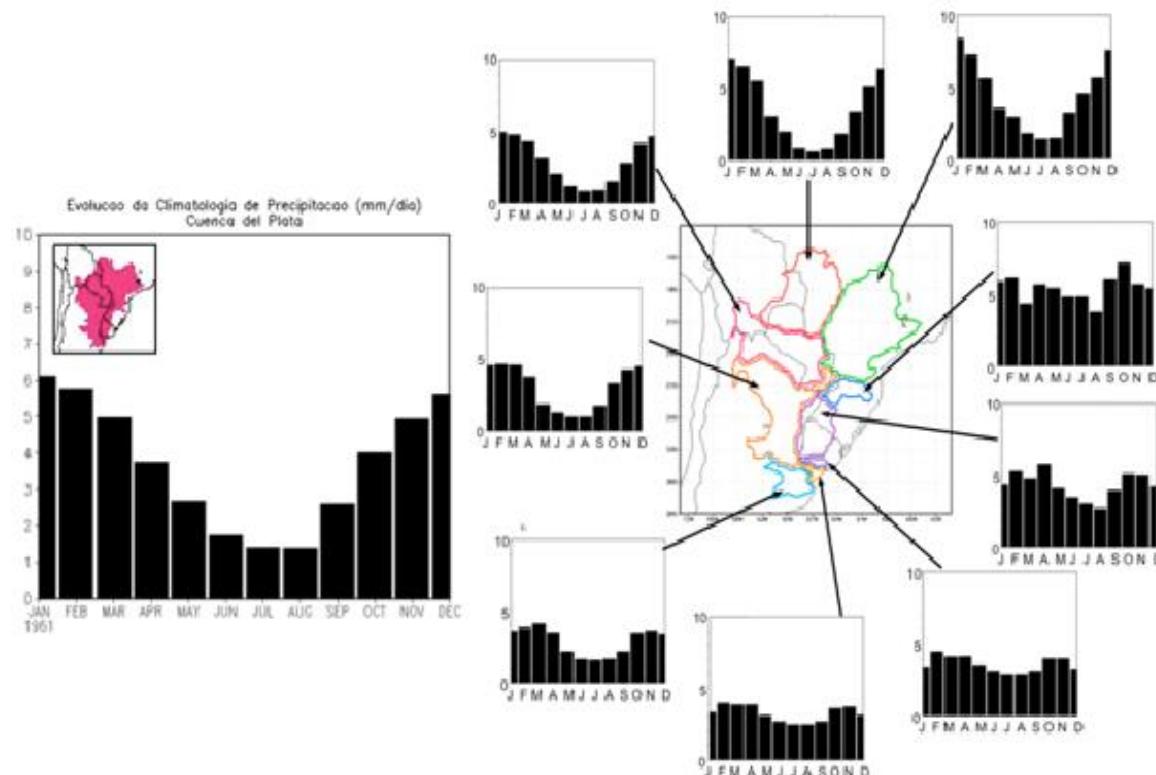


Figura 47. Precipitación climatológica de la Cuenca del Plata (1973-2013), Global Precipitation Climatology Project (GPCP).

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, siglas 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, Rodriguez 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 bajas de la atmósfera y se extienden hasta una altitud de 3km, viaja con una velocidad que puede alcanzar 50km/h, con aire cargado de humedad que al ingresar a la Cuenca del Plata interactúa con otras masas de aire o frentes fríos que provienen del sur del continente, produciendo frontogénesis o Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) que producen lluvias importantes en la región (Figura 48).

Los aumentos sistemáticos de precipitación y escorrentía desde mediados del 70 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.

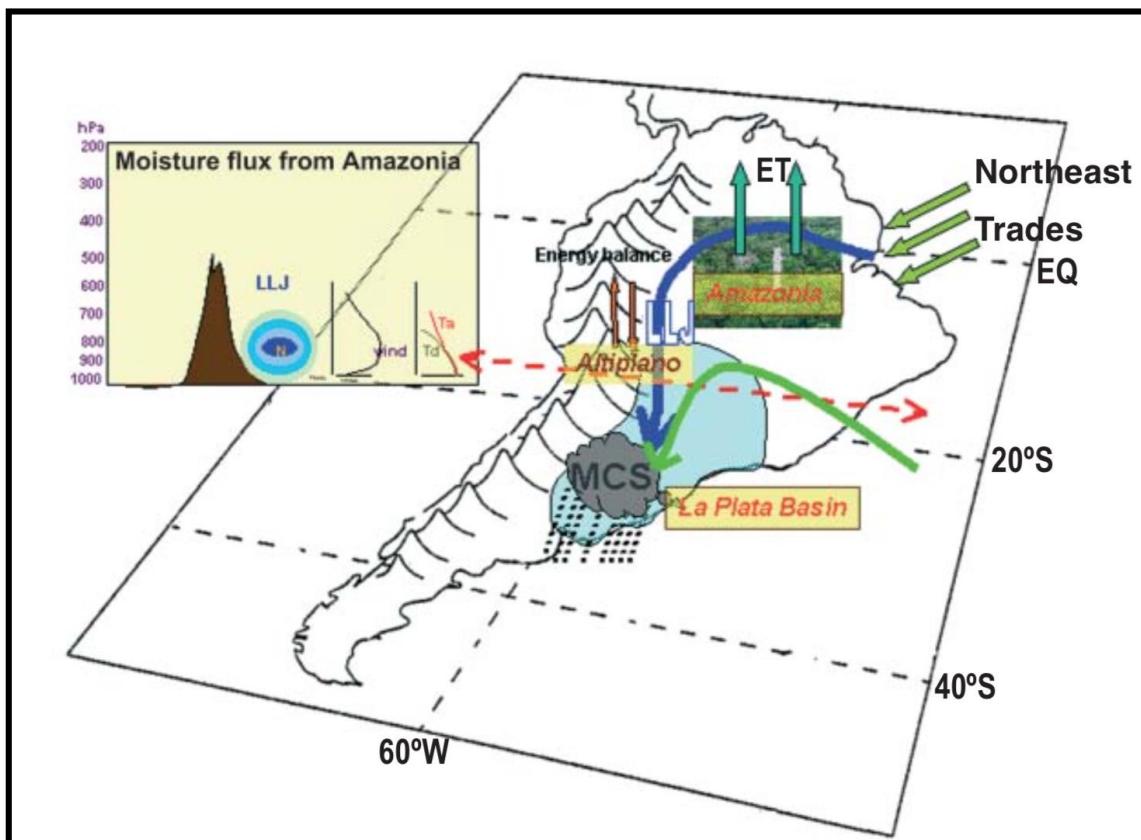


Figura 48. Modelo conceptual del Jet de Bajo Nivel al este de los Andes que transporta humedad desde el Amazonas (flecha azul) y desde el Océano Atlántico Subtropical (flecha verde). Fuente: Marengo et al. 2004<sup>a</sup>

El desarrollo de eventos de “El Niño” y “La Niña”, fenómenos relacionados a la temperatura superficial del Océano Pacífico Tropical, tienen 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 “Niños” 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 déficit pluviométrico o sequía. La relación de la precipitación con estos eventos, en la medida que los mismos 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 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 49). 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 alguno de los cambios detectados se encuentran los incrementos en las precipitaciones y en el caudal de los ríos, y 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 de suelo pudieron haber contribuido en el 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).

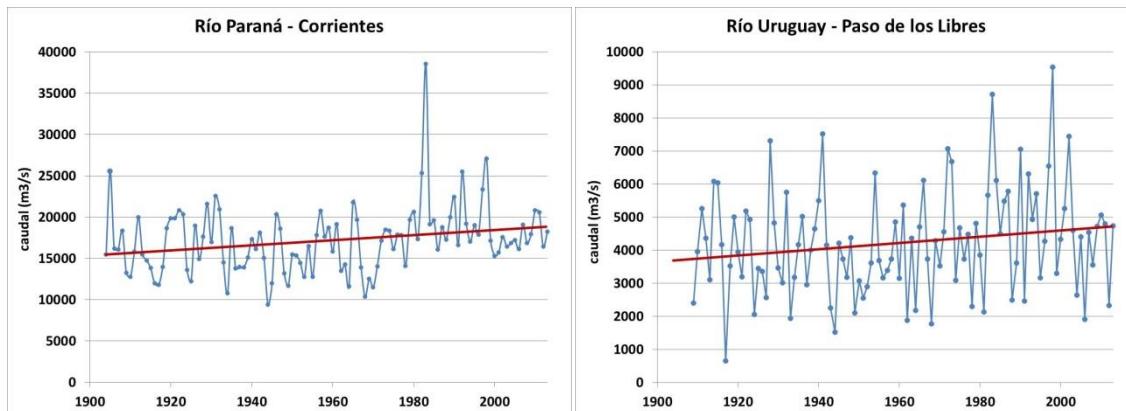


Figura 49. Caudales medios anuales del río Paraná en Corrientes (1904-2013) y del río Uruguay en Paso de los Libres (1909-2013)

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 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 1 a 2 meses, tal como refleja el diagrama de Hovmöller sobre un área en la parte norte de la cuenca (Figura 50). Recientemente se demostró que desde 1979 se ha observado un aumento de la estación seca en el sur del Amazonas.

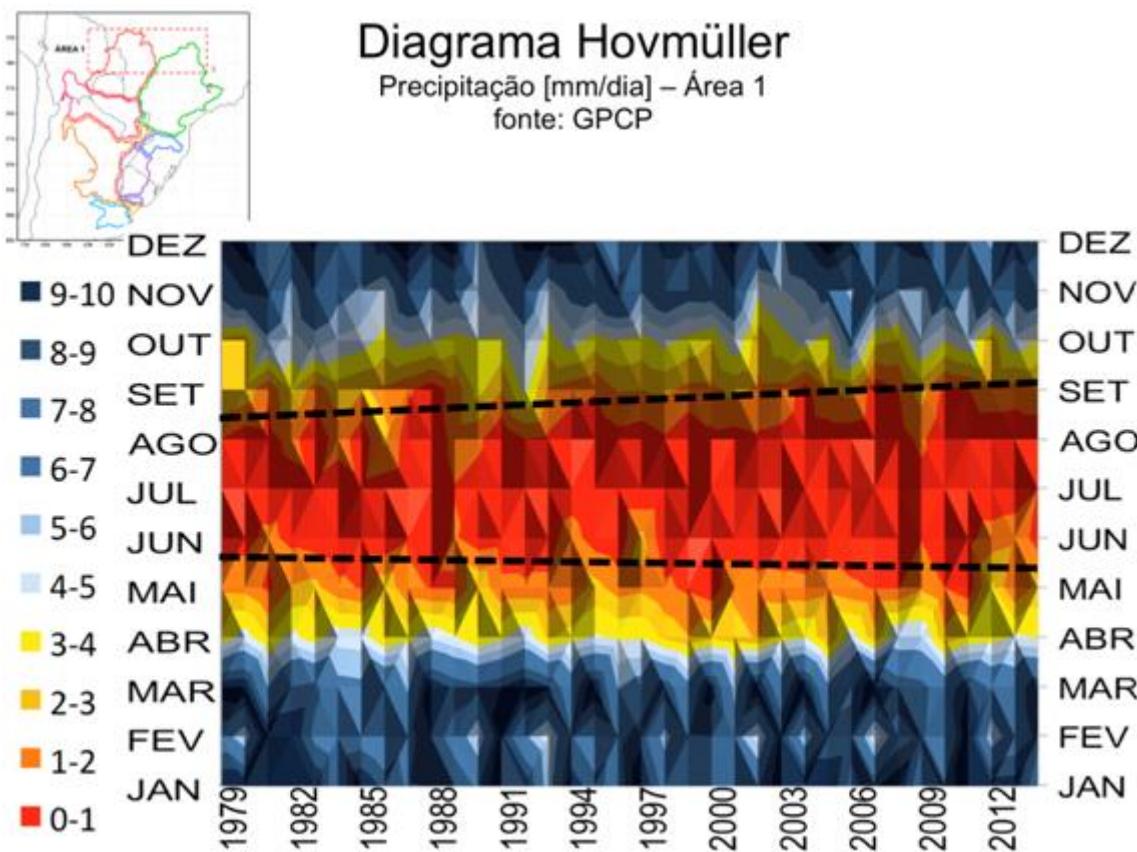


Figura 50. Diagrama de Hovmöller de precipitación (mm/d) sobre un área al norte de la Cuenca del Plata, Global Precipitation Climatology Project (GPCP)

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 invadiendo la Cuenca del Plata, 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 la misma 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 51), observe 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.

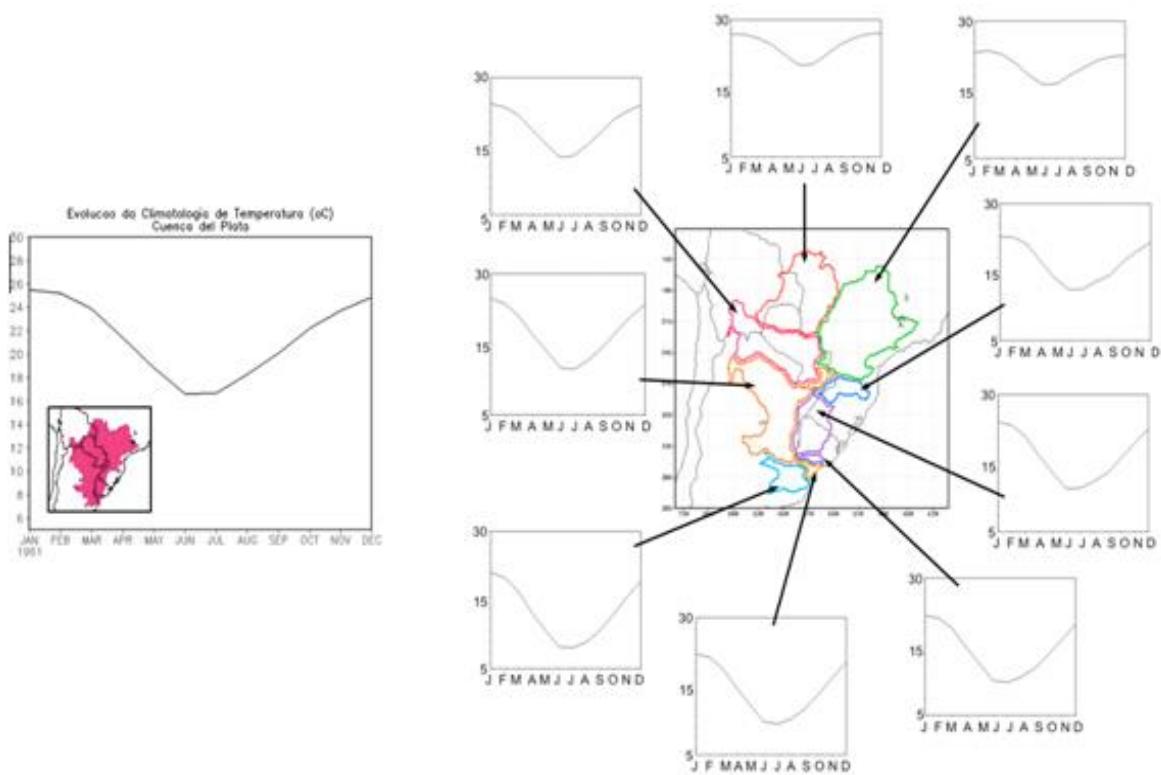
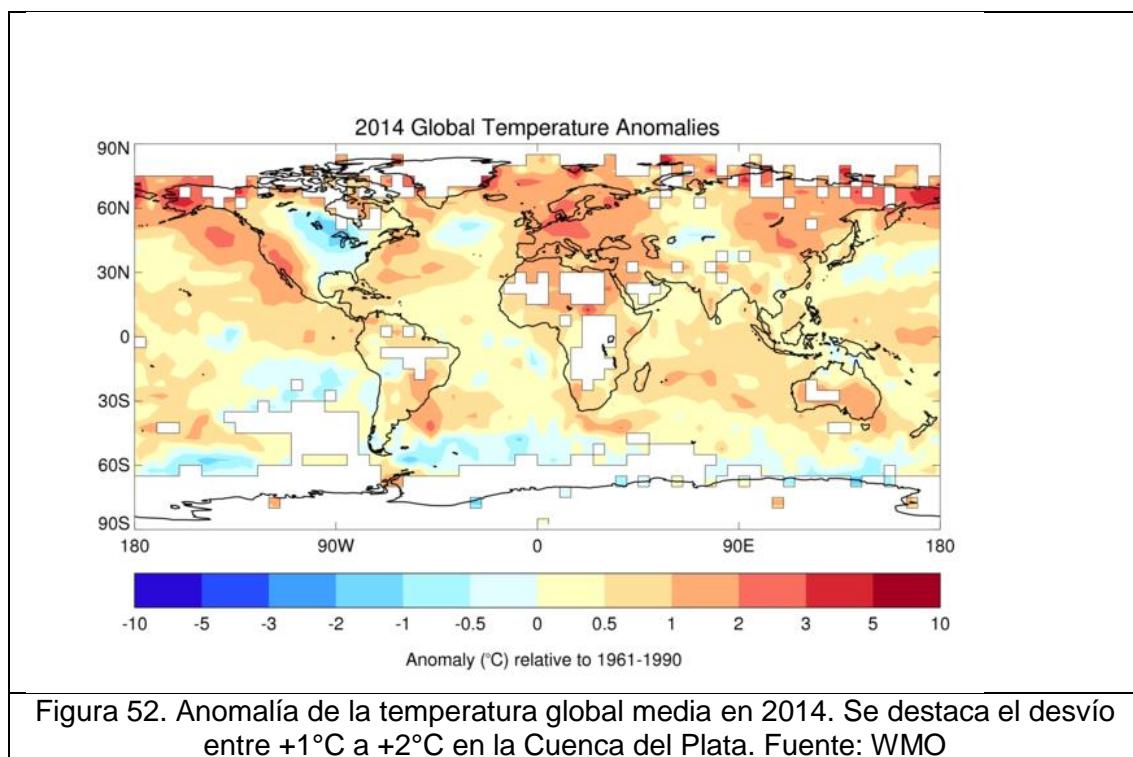


Figura 51. Temperatura media climatológica de la Cuenca del Plata y de sus respectivas subcuenas, período 1961-1990, Climatic Research Unit (CRU)

## 7.2 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 52), llamando la atención de que estas temperaturas elevadas se registraron en ausencia de “El Niño” plenamente desarrollado, también se resalta el hecho de que en los últimos 3 años tampoco se han registrado eventos “El Niño”.



Esta anomalía observada en 2014 no resulta ser un hecho aislado, desde hace décadas que las observaciones meteorológicas en la Cuenca del Plata muestran un aumento constante de la temperatura del aire en muchas localidades, así, la Figura 53 muestra la marcha decadal de la temperatura del aire en el Observatorio Meteorológico de Asunción, donde se observa un calentamiento más acelerado en la última década del siglo XX y en la primera del siglo XXI en relación a décadas anteriores.

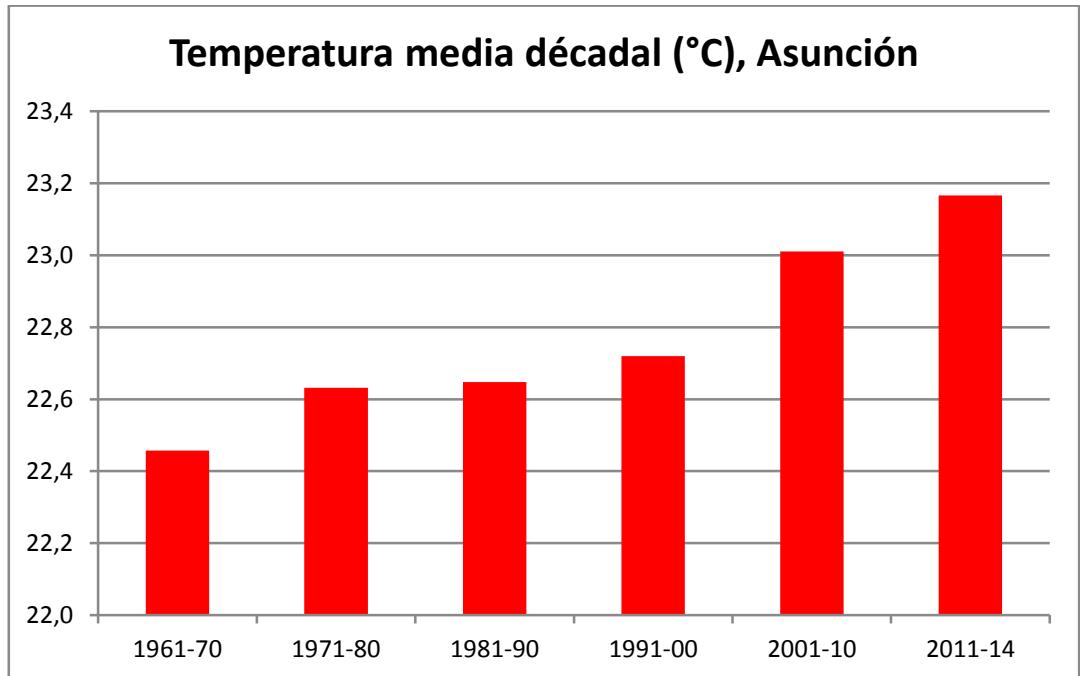


Figura 53. Temperatura del aire media decadal (°C) en Asunción, Paraguay. Fuente: UNA-DMH

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 54). 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 calentamiento mucho más rápido del detectado en el siglo XX, y que aparentemente, no tiene antecedentes, por lo menos, en los últimos 10.000 años.

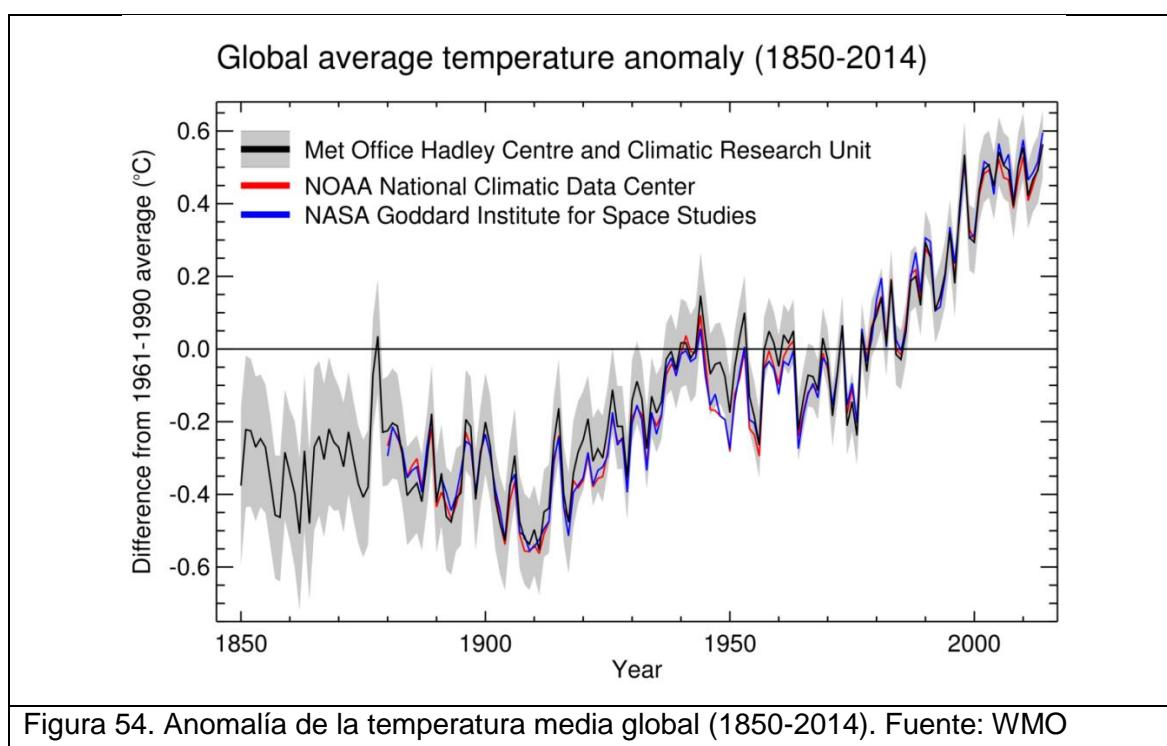


Figura 54. Anomalía de la temperatura media global (1850-2014). Fuente: WMO

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 (GCMs) o los Modelos Globales Acoplados Océano-Atmósfera (AOGCMs), no obstante, la resolución horizontal atmosférica utilizada por estos modelos es un tanto grosera, y el clima regional, en muchas partes del mundo, puede estar afectado por circulaciones que ocurren en una escala menor, es por ello que la técnica de “regionalización” es útil para mejorar la información de los modelos globales. El “dowscaling” utilizando modelos climáticos regionales (Regional Climatic Models-RCMs), posee la atribución de ser una herramienta muy útil para generar escenarios de cambio climático en alta resolución, y para uso en estudios de impactos climáticos y adaptación al cambio climático. El “dowscaling” dinámico se refiere a un modelo RCM anidado en un modelo AOGCM, este último provee las condiciones iniciales y contorno meteorológico y el RCM genera simulaciones de alta resolución.

No obstante, existen fuentes de incertezas en el modelaje del clima como por ejemplo:

1. 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
2. Incertezas sobre los efectos directos del aumento de la concentración de los GEI en las plantas, y de estas en el clima futuro
3. Incertezas en la sensibilidad de los modelos frente a los patrones regionales
4. Variabilidad Natural del Clima

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 incertezas, 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, allá por los años 1750, la concentración de los gases de efecto invernadero aumentó en casi 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 55). Se concluye que existen fuertes indicios de que la acción antropogénica está modulando las transformaciones observadas y que las consecuencias serían sentidas en este siglo.

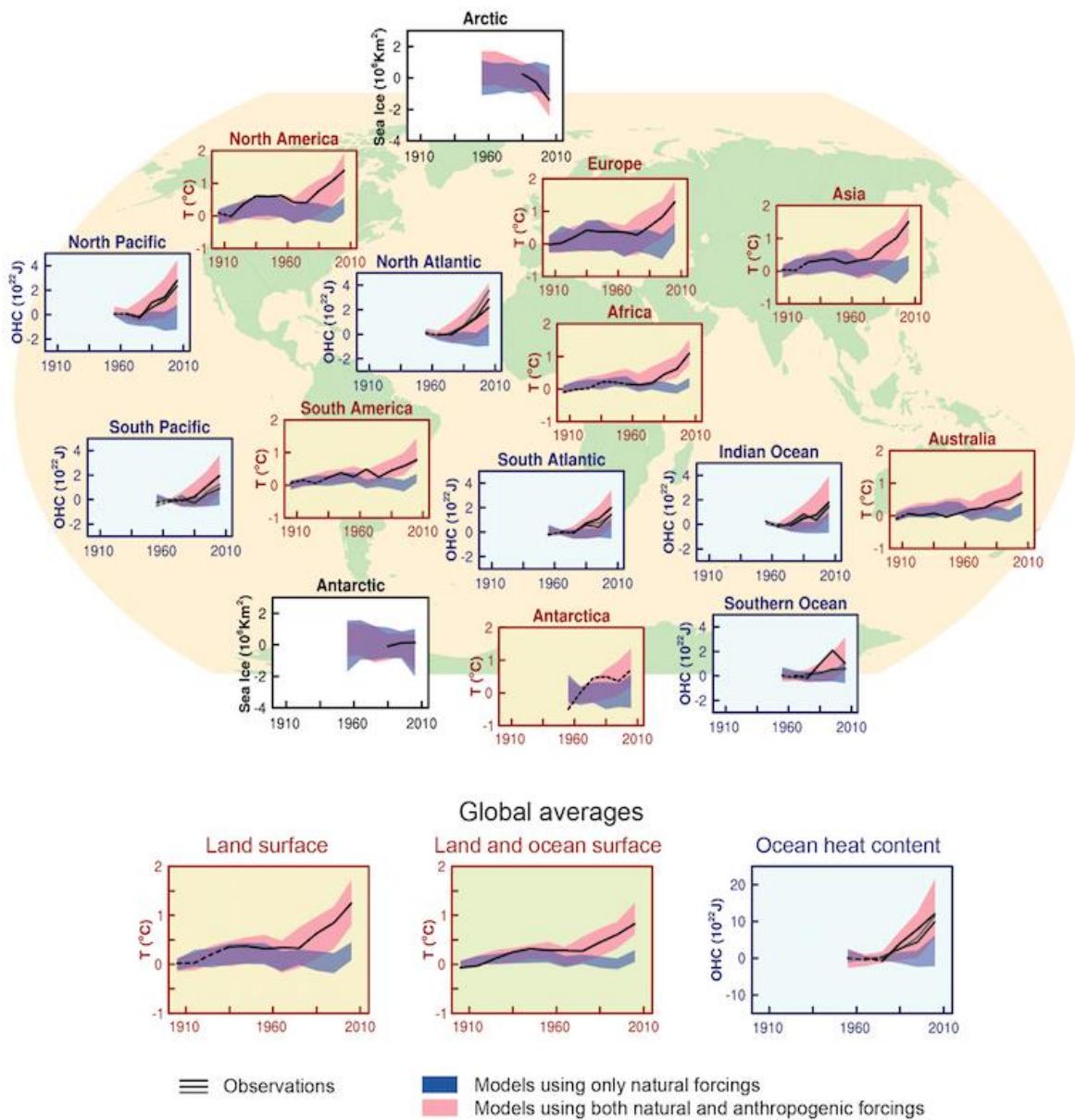


Figura 55. Comparación de cambio climático simulado en base a tres indicadores de gran escala. La alteración de la temperatura del aire en los continentes (amarillo). La extensión de hielo marino en los polos (blanco). El contenido de calor en los océanos (azul). Las anomalías de La temperatura de superficie, 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)

### 7.2.1 Escenarios de Cambio Climático

Para la región de Cuenca del Plata, el CPTEC ha realizado simulaciones con el modelo climático regional ETA, con resoluciones de 10km y 20km, 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-20km y el segundo con la simulación realizada por el ETA-10km (Mourao, 2014), en este informe se presentan los resultados de la segunda simulación. Para tal efecto, el modelo climático regional ETA con resolución de 10km fue integrado con las condiciones iniciales y de contorno del modelo ETA-20km, que utilizó las condiciones de borde del modelo global HadGEM2-ES.

Para el escenario emisión de CO<sub>2</sub> 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 56 puede verse los cuatro escenarios RCPs. El escenario utilizado en el ETA-10km fue el RCP4.5 considerado intermedio o moderado.

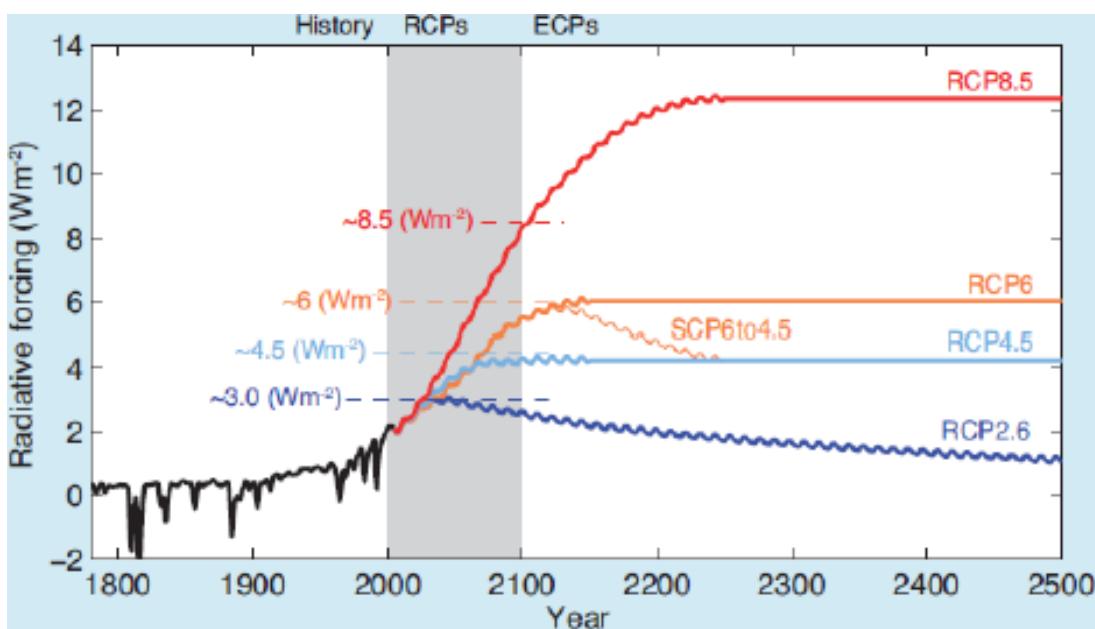


Figura 56. RF total (antropogénico más natural) para RCPs y ECP (*Extended Concentration Pathways*), para RCP2.6, RCP4.5, RCP6 y RCP8.5, así como una extensión complementaria de RCP6 a RCP4.5 con un ajuste de emisiones después del 2100 para alcanzar el nivel de concentración de RCP4.5 en el 2250. Las variaciones de corto plazo de RF son debidas 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 (Cubasch et al., 2013)

La metodología utilizada consiste en la integración del modelo ETA para los períodos 1960-1990, 2006-2040, 2040-2070 y 2070-2099, y 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 CRU (“*Climatic Research Unit*”), 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 trasladar los mismos a otros indicadores tales como riesgo, caudales, humedad de suelo y erodabilidad. No obstante ello, 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 considerando el desarrollo actual del conocimiento en materia de MCG.

## 7.2.2 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 57, resultados del modelo y datos CRU, mientras en la Figura 58 se observan la misma climatología para el área 1 que corresponde a la parte de la cuenca del alto Paraguay y 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 a sobreestimar la precipitación en el sureste de la cuenca (alto Paraná y alto Uruguay) (Figura 67).

Respecto a la temperatura del clima presente en la Cuenca del Plata, se puede observar una buena reproducción de la misma, si bien subestima la temperatura en el verano y en 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 tanto la temperatura en la zona ZCAS (alto Paraguay y alto Paraná) (Figura 68).

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.

### Climatología (1961-1990) de la Precipitación (mm/d) ETA (negro), CRU (verde)

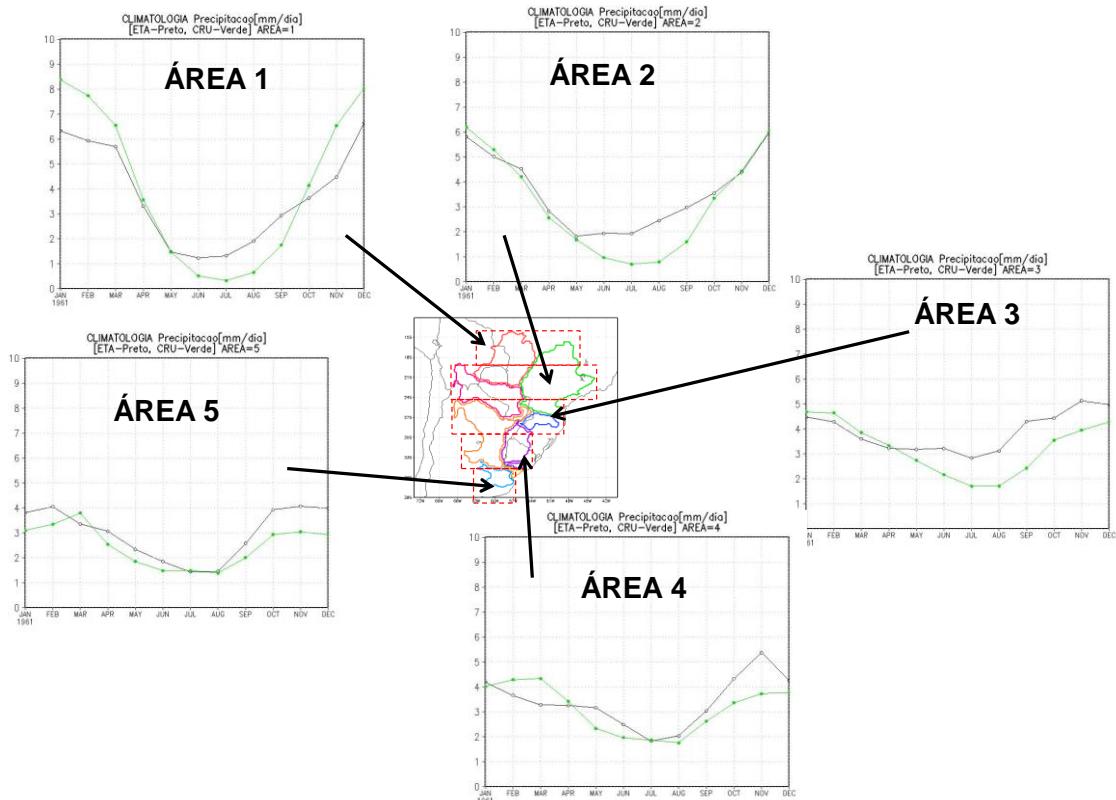


Figura 57. Climatología de la precipitación mensual media (mm/d) del ETA-10km y del CRU para la Cuenca del Plata

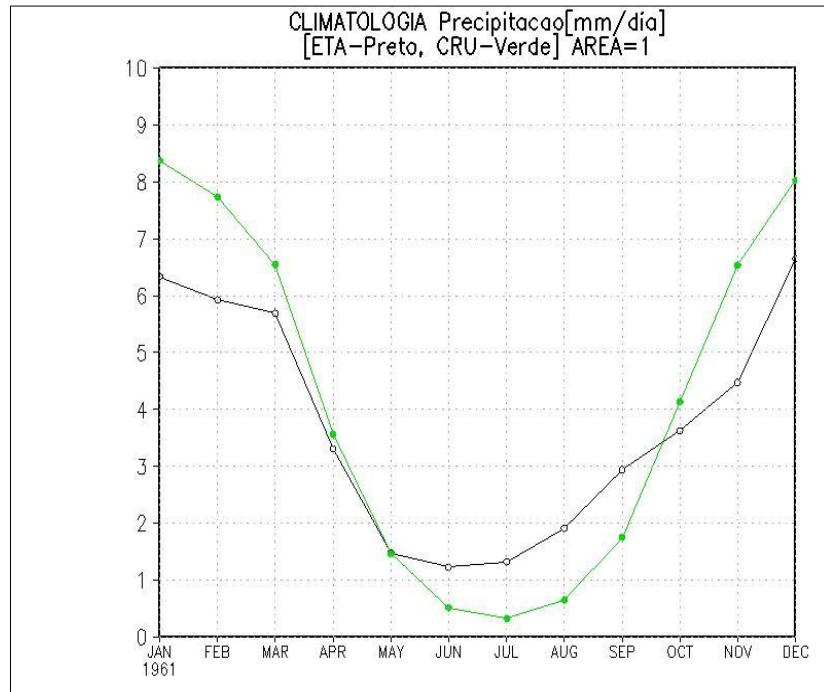


Figura 58. Climatología de la precipitación mensual media (mm/d), ETA-10km (negro) y del CRU (verde) para el Área 1 (alto Paraguay y alto Paraná)

**Análisis de climas futuros:** Respecto a 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 1 se sintetizan los resultados del modelo regional ETA-10km para períodos climáticos del futuro en relación al clima de 1961-1990. En el anexo II y Anexo III se pueden 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 10km presenta diferencias o anomalías futuras de la precipitación estacional para los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 en relación al período de referencia del clima 1961-1990 (esta diferencia es llamada aquí anomalía).

En el 2011-2040, es posible observar una tendencia de anomalía negativa de la precipitación en buena parte de la Cuenca del Plata, principalmente durante verano (DEF) y en menor medida en otoño (MAM) y en primavera (SON), esta anomalía negativa se extiende sobre toda la región conocida 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 del 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 69).

En el 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 70).

En el 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 río Uruguay en todo el año, y en el bajo Paraná y Río de la Plata en verano y otoño (Figura 71).

**Análisis de la temperatura:** Según el modelo utilizado el Modelo ETA-10km, 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 período de referencia 1961-1990, en toda la Cuenca del Plata.

En el 2011-2040, se observan las mayores anomalías en la cuenca alta del Río 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 a más (Figura 72).

En el 2041-2070, el calentamiento del clima continúa su marcha ascendente, observándose anomalías entre 2,5°C-4,0°C en la primavera y en verano, con calentamiento más ameno en otoño e invierno 2,5°C-3,0°C en la Cuenca del Plata, siendo las zonas más cálidas nuevamente la región del Pantanal en el Alto Paraguay (Figura 73).

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 invierno y la primavera con un calentamiento del clima generalizado en la Cuenca del Plata, la zona septentrional es la que presenta el mayor calentamiento (Figura 74).

MACRO CUENCAS	PRECIPITACIÓN			TEMPERATURA		
	PERIODOS			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 en 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

Tabla 1. Resultados del modelo climático regional ETA 10 km para períodos climáticos futuros en relación al clima de 1961-1990, CPTEC, 2014.

**Nota:** Cabe destacar sobre los resultados presentados en la Tabla 1, son productos de un solo modelo climático y un único escenario; el modelo climático regional ETA 10km para el escenario RCP 4.5 (moderado), en consecuencia, estos escenarios de cambio climático deberían de ser consideradas con las limitaciones propias que ésta situación impone.

En términos anuales se puede sintetizar el comportamiento de la precipitación y la temperatura para toda la Cuenca del Plata como así también para cada una de las subcuencas (Figura 59). 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 ésta 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.

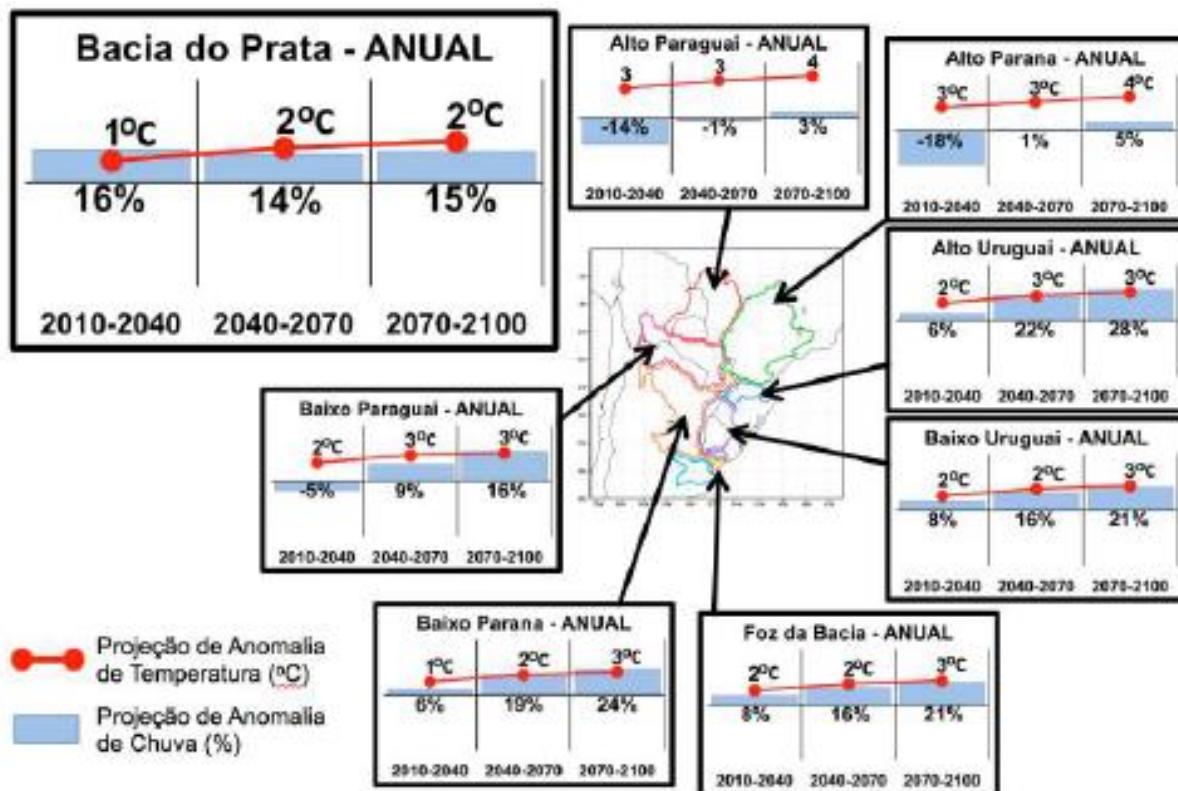


Figura 59. Proyecciones de la anomalía de la precipitación anual media (%) y la anomalía de la temperatura anual media (°C), para las tres décadas consideradas y para cada una de las sub cuencas y para la Cuenca del Río de la Plata, CPTEC, 2014.

Sabiendo las limitaciones que implican sacar conclusiones sobre el clima del futuro, observando un solo modelo y un solo escenario, se creyo conveniente atender a la evolución temporal de varios otros modelos climáticos, con el simple objetivo de compararlos con el modelo regional ETA, en particular, se compararon las salidas de 7 modelos del CMIP-5 (Couple Model Intercomparasion 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 anomalia fue utilizado el período histórico (1961-1990), de los respectivos modelos, la evolución temporal corresponde a la totalidad del área de la Cuenca del Plata.

Atendiendo ésta comparación, la Figura 60 se sintetiza la tendencia de la anomalia de la precipitación que es integrada y representada para toda el área correspondiente a la Cuenca del Plata de los modelos mencionados y el 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.

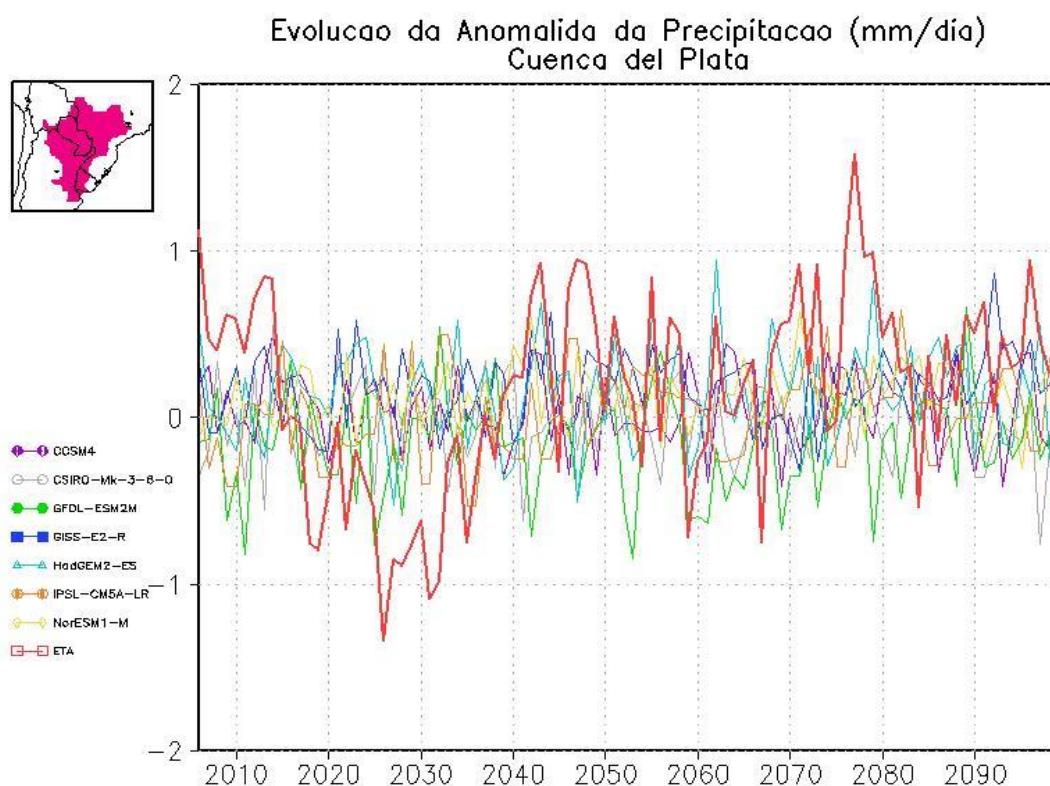


Figura 60. Evolución de la anomalía de la precipitación (mm/d) para el área de la Cuenca del Plata, según varios modelos

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 temperatura más elevadas en relación a 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 61).

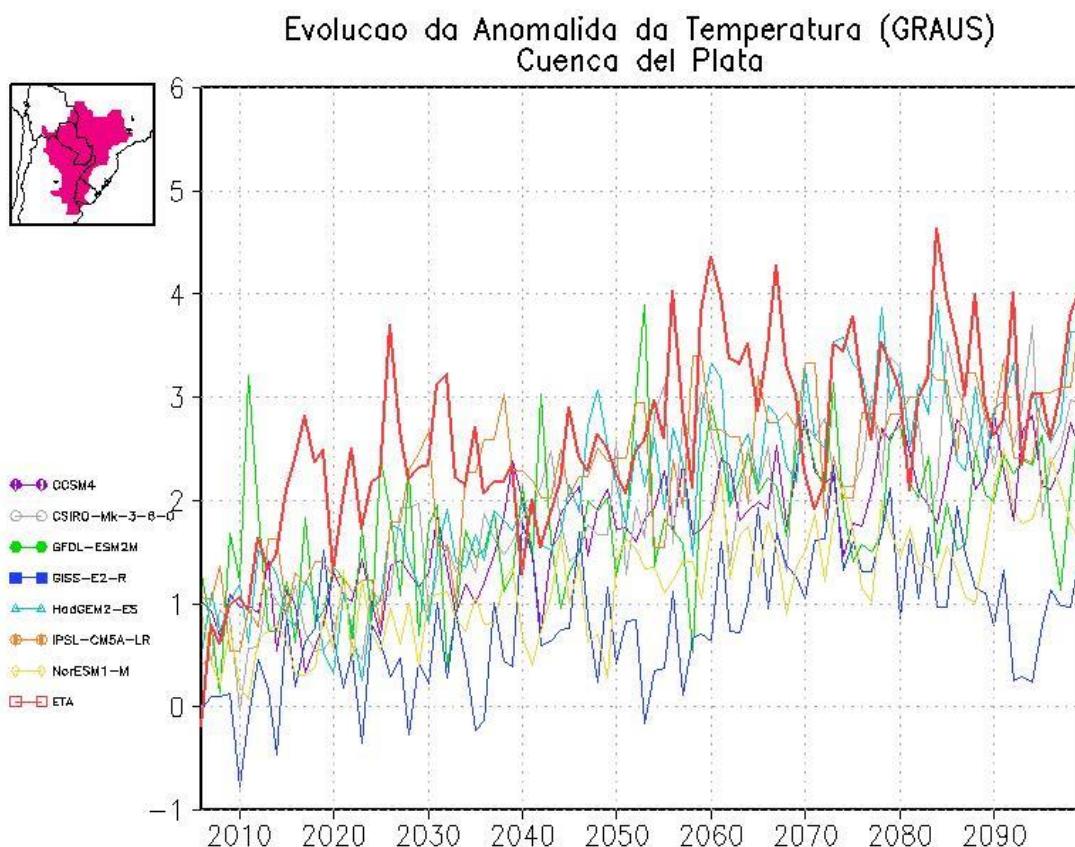


Figura 61. Evolución de la anomalía de la temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ) para el área de la Cuenca del Plata, según varios modelos

Dada estas observaciones, y considerando las limitaciones que aún presentan los modelos climáticos para reproducir el clima del futuro, y viendo La dispersión de los resultados, podríamos pensar que el modelo ETA/CPTEC/INPE puede ser considerado como un guía a considerar para los análisis de los escenarios climáticos del futuro.

### **7.2.3. Breve discusión 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 tener fuerte impacto en la producción agrícola y ganadera, 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 el agua.

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.

### 7.3 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 llevar 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 probablemente relativamente pequeño comparado con las variaciones anuales normales de tales extremos.
3. No obstante, en la medida 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.

#### 7.3.1. Definiendo extremos climáticos

Un clima cambiando lleva a alteraciones en la frecuencia, intensidad, extensión espacial y duración de extremos de condiciones las 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 62).

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.

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.

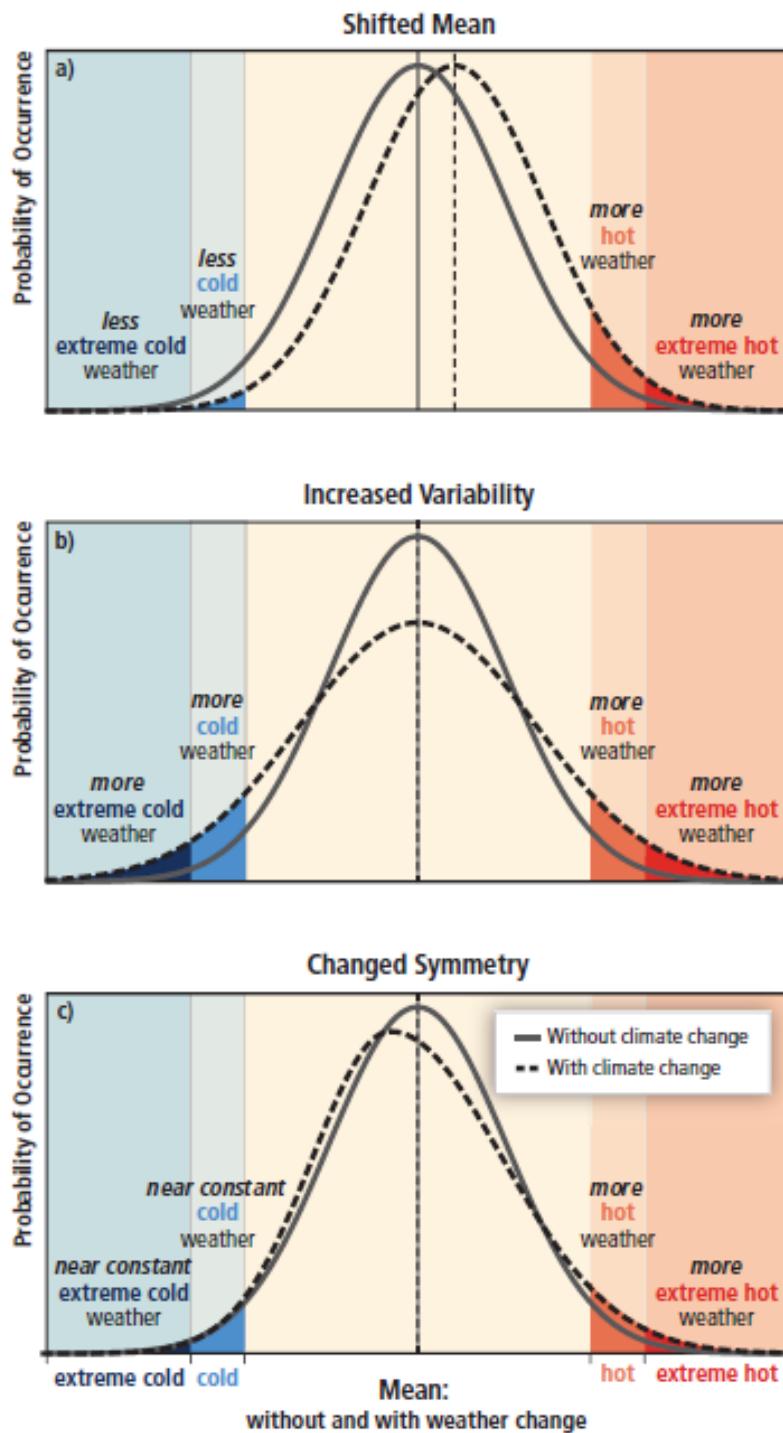


Figura 62. Efectos de cambios en la distribución de la temperatura en los extremos. Diferentes cambios en la distribución de temperatura entre el clima presente y futuro y sus efectos en la distribución de valores extremos: (a) Efectos de un simple desplazamiento de la media hacia un clima más caliente; (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 (IPCC, 2012)

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

Seguidamente son presentados algunos resultados de extremos climáticos del Modelo regional ETA-CPTEC. Respecto a 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 a lo largo del siglo (Figura 63).

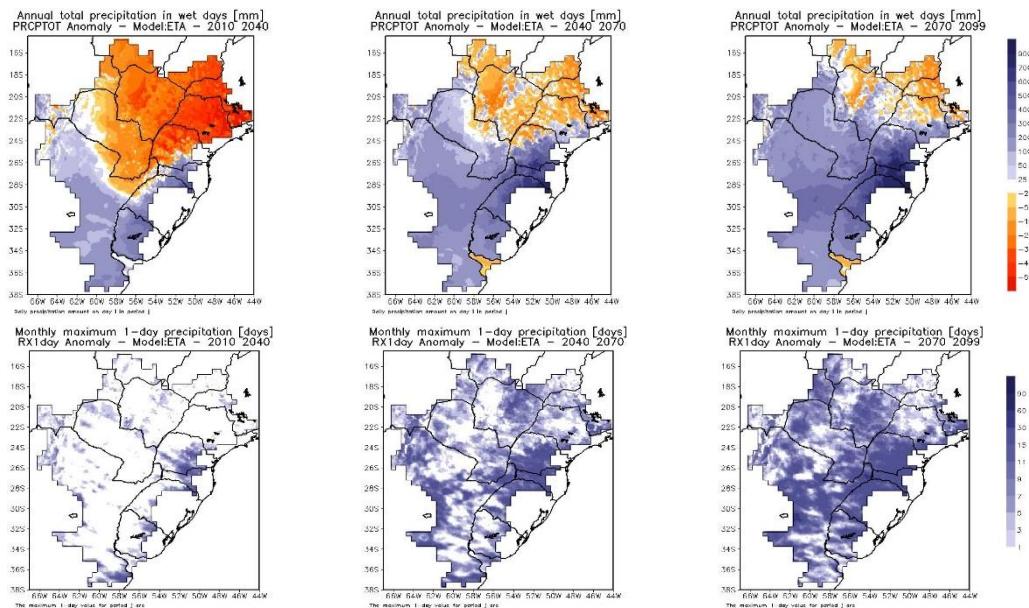


Figura 63. Anomalía de la precipitación total anual (arriba) y Número de días con lluvia (abajo), ETA-CPTEC

Siguiendo con los resultados del ETA, los días secos consecutivos irían disminuyendo durante el siglo XXI, mientras que los días húmedos consecutivos irán aumentando durante el siglo, 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 64).

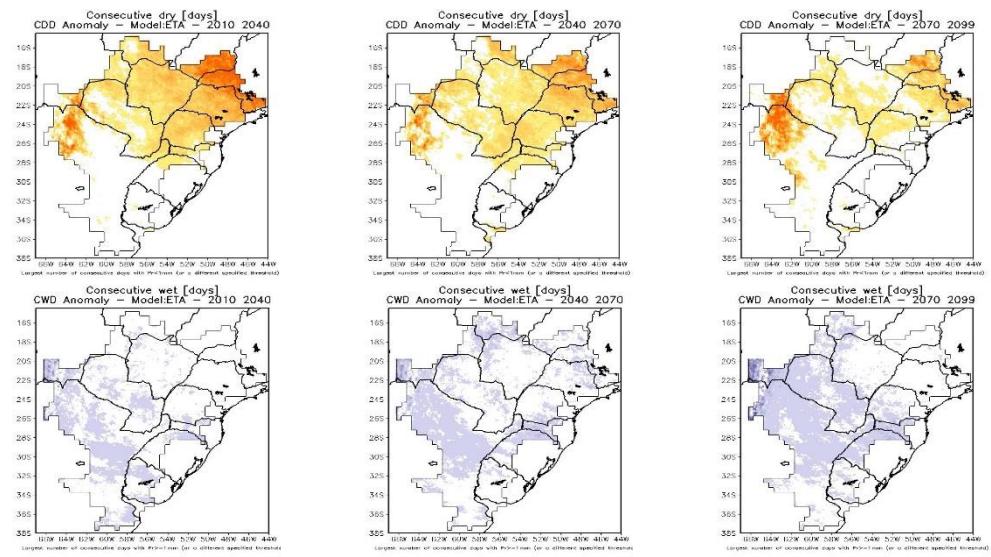


Figura 64. Días secos consecutivos (arriba) y Días húmedos consecutivos (abajo), ETA-CPTEC

La ocurrencia de eventos extremos también tiende a manifestarse en la intensidad de las lluvias, los días con lluvia fuerte estarán aumentando en el presente siglo, especialmente sureste de la Cuenca del Plata como así también los días con lluvia muy fuerte (Figura 65).

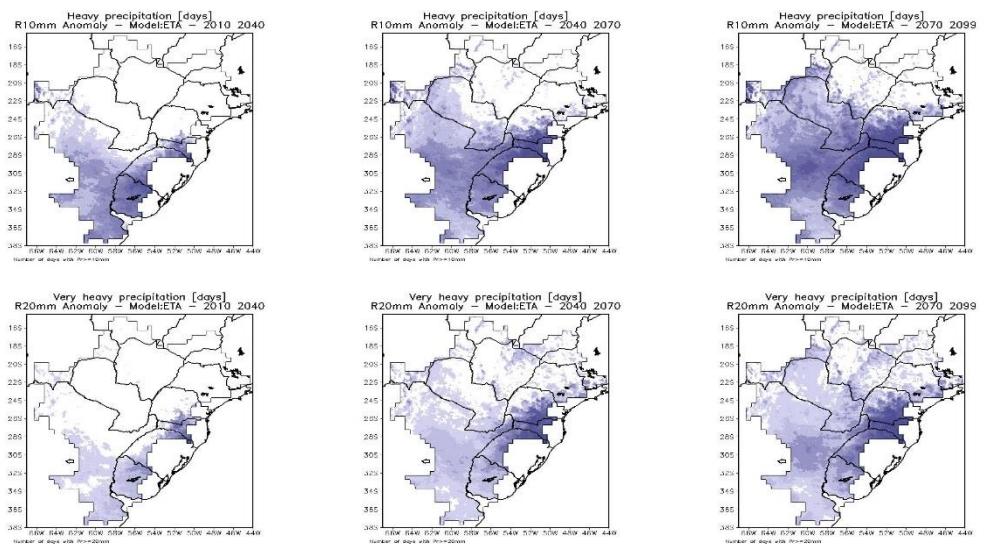


Figura 65. Días con lluvia fuerte (arriba) y Días con lluvia muy fuerte (abajo), ETA-CPTEC

Respecto a la temperatura se observa que los días calientes presentan una tendencia de aumento, especialmente en el centro y norte de la cuenca, y que los días fríos estarán disminuyendo, esto no implica que eventos esporádicos o individuales no puedan actuar, como frentes fríos intensos, y producir extremos marcados de temperaturas (Figura 66).

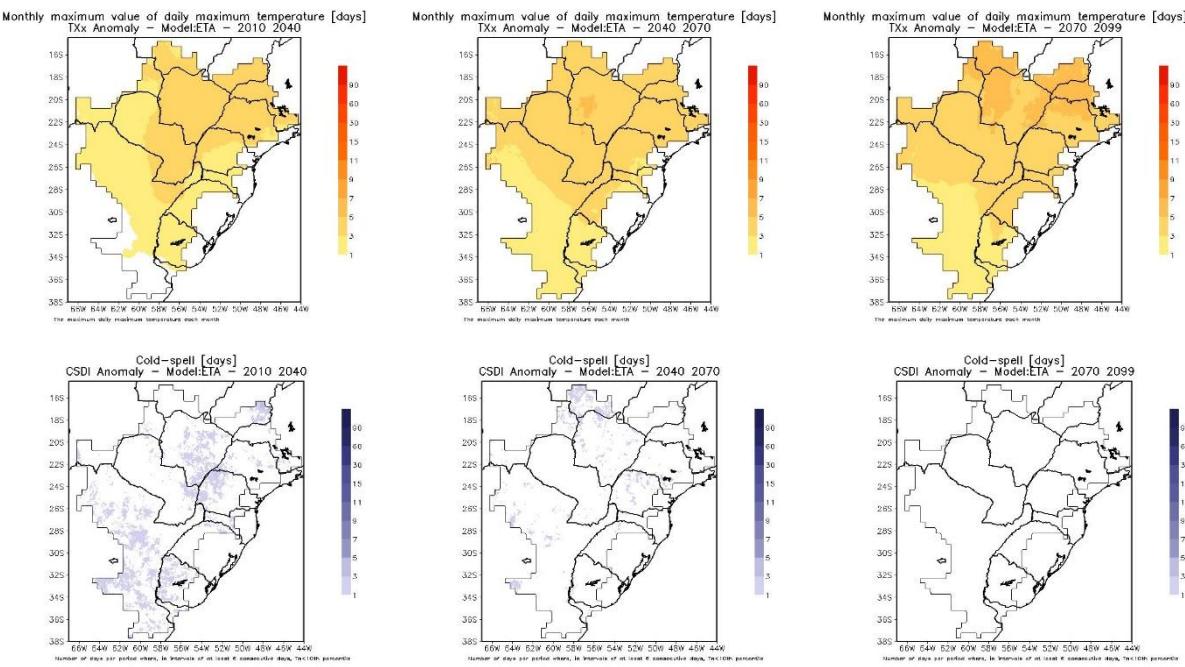


Figura 66. Días calientes (arriba) y Días fríos (abajo), ETA-CPTEC.

### 7.3.2. Consecuencias de extremos climáticos

Vamos a destacar los efectos de los extremos climáticos. La base científica también muestra como los impactos incrementales relacionados al clima, más que los eventos extremos en sí, pueden tener consecuencias extremas donde existe una alta vulnerabilidad.

Inundaciones, sea debida al cambio climático, a la degradación ambiental u otros factores sociales, pueden conducir a un cambio geográfico. El estrés por calor, puede causar muertes aún en países tropicales, donde las personas están aclimatadas 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 fue relacionado al aumento del número y duración de tempestades en la década de 1996 a 2005, comparados con registros de décadas 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 agricultura, turismo o poblaciones urbanas. La gravedad de esos impactos dependerá fuertemente del nivel de exposición y vulnerabilidad a los extremos del clima. Eventos extremos tienen los mayores impactos en sectores que son muy ligados al clima, como por ejemplo la seguridad de acceso al agua potable, la seguridad alimentaria y la salud pública, entre otros. Existe una alta confianza de 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, lluvias intensas e inundaciones también pueden afectar la calidad del agua superficial y

la salud en áreas urbanas. La forma como 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 o 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. Quiera sé o no, las transformaciones están ocurriendo a una velocidad y 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. Respuestas al cambio climático y 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.

## 8. Conclusiones y recomendaciones

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 es 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 posibilidades de éxito si pudieran mejorarse e integrarse las redes de monitoreo, especialmente las estaciones hidrometeorológicas de superficie y los radares meteorológicos. Respecto a estos últimos, la posibilidad de ampliar la cobertura de radares en el Paraguay e instalar un radar meteorológico en el 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 la Cuenca 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 los mismos, 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 Monitoreo y Alertas Hidrometeorológicas e Hidroclimáticas 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 el cambio climático.
7. Se observa un 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 a 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 incertezas, debiendo profundizarse el estudio de la variabilidad del clima observado en las escalas de tiempo más largas posibles, 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 su variabilidad.

10. Se disponen de los escenarios climáticos para la Cuenca del Plata, el CPTEC ha realizado simulaciones con el modelo climático regional ETA, con resoluciones de 10km y 20km, 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.

10. La integración de los recursos disponibles en los países que conforman la cuenca es una alternativa como camino a seguir para facilitar tomar 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 de ser: monitoreo, identificación conocimiento del riesgo, comunicación y difusión y capacidad de respuesta

11. 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, 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 los mismos ya tratados para los países. Como resultado directo de este esfuerzo se ve la profundización del conocimiento regional y consecuentemente la posibilidad de mejorar las predicciones de corto, mediano y largo plazo y la generación de escenarios climáticos.

## 9. Glosario de términos

Este glosario de términos es una breve síntesis de términos utilizados en este informe y basados fundamentalmente en el Glosario de Términos de la contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2013).

### **Calentamiento global**

El término calentamiento global se refiere al aumento gradual de las temperaturas de la atmósfera y océanos de la Tierra que se ha detectado en la actualidad, además de su continuo aumento que se proyecta a futuro.

### **Cambio climático**

Con relación al término cambio climático existen diferentes definiciones. El IPCC en su Informe Especial “Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático” (SREX, por sus siglas en inglés) publicado en el año 2012, define que el cambio climático es el cambio en el estado del clima que puede ser identificado (por ejemplo con pruebas estadísticas) por los cambios en el promedio del clima y/o la variabilidad de sus propiedades y que persiste por un periodo extenso de tiempo, normalmente por décadas o periodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos naturales internos o forzantes externas como las modulaciones del ciclo solar o erupciones volcánicas, o también a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra. Esta definición difiere de la establecida por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés), que define el cambio climático como el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables de tiempo. De esta manera, la Convención diferencia el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica de la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

### **Clima**

El **clima** es el estado promedio del tiempo durante un periodo de al menos unos 30 años, para una región específica. En un sentido más amplio, también se puede decir que el clima no solamente se refiere a la atmósfera, sino que es la descripción del sistema climático en su conjunto que comprende la atmósfera, océano, tierra, círosfera (nieve y hielo) y biosfera. Generalmente se dice que el tiempo es lo que tenemos y el clima es lo que esperamos.

**Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)**  
Fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y rubricada ese mismo año en la Cumbre para la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, por más de 150 países más la Comunidad Europea. Su objetivo último es “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático”. Contiene cláusulas que comprometen a todas las Partes. En virtud de la Convención, las Partes incluidas en el anexo I (todos los países de la OCDE y países de economía en transición) se proponen retornar, para el año 2000, a los niveles de emisión de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal que existían en 1990. La Convención entró en vigor en marzo de 1994. En 1997 la CMNUCC incorporó el Protocolo de Kyoto.

### **Efecto invernadero**

Efecto radiativo infrarrojo de todos los componentes de la atmósfera que absorben en el infrarrojo. Los gases de efecto invernadero y las nubes y, en menor medida, los aerosoles absorben la radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra y por

cualquier punto de la atmósfera. Esas sustancias emiten radiación infrarroja en todas las direcciones, pero, a igualdad de condiciones, la cantidad neta de energía emitida al espacio es generalmente menor de la que se habría emitido en ausencia de esos absorbedores debido a la disminución de la temperatura con la altitud en la troposfera y el consiguiente debilitamiento de la emisión. Una mayor concentración de gases de efecto invernadero aumenta la magnitud de este efecto, y la diferencia generalmente se denomina efecto invernadero intensificado. La modificación de la concentración de los gases de efecto invernadero debida a emisiones antropógenas contribuye a un aumento de la temperatura en la superficie y en la troposfera inducido por un forzamiento radiativo instantáneo en respuesta a ese forzamiento, que gradualmente restablece el balance radiativo en la parte superior de la atmósfera.

### **Escenario**

Descripción plausible de un futuro verosímil, basada en un conjunto consistente y coherente de supuestos sobre las fuerzas motrices (por ejemplo el ritmo de la evolución tecnológica y los precios) y sobre las relaciones más importantes. Obsérvese que los escenarios no son ni predicciones ni pronósticos, pero son útiles ya que ofrecen un panorama de las consecuencias de la evolución de distintas situaciones y medidas.

### **Escenario de emisiones**

Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (GEI) son el producto de muy complejos sistemas dinámicos, determinado por fuerzas tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico o el cambio tecnológico. Su evolución futura es muy incierta. Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis. Los escenarios de emisiones son de utilidad para el análisis del cambio climático, y en particular para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y de mitigación

### **Escenario climático**

Representación plausible y en ocasiones simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropógeno, y que puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto. Las proyecciones climáticas suelen utilizarse como punto de partida para definir escenarios climáticos, aunque estos requieren habitualmente información adicional, por ejemplo sobre el clima actual observado. Un escenario de cambio climático es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual.

### **Gas de efecto invernadero (GEI)**

Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero. El vapor de agua ( $H_2O$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el óxido nitroso ( $N_2O$ ), el metano ( $CH_4$ ) y el ozono ( $O_3$ ) son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. Además, la atmósfera contiene cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógeno, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, y contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del  $CO_2$ ,  $N_2O$  y  $CH_4$ , el Protocolo de Kyoto contempla los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

**Modelo climático (en espectro o en jerarquía)**

Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroalimentación, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático se puede representar mediante modelos de diverso grado de complejidad; en otras palabras, para cada componente o conjunto de componentes es posible identificar un espectro o jerarquía de modelos que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que aparecen representados explícitamente los procesos físicos, químicos o biológicos, o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas. Los modelos de circulación general atmósfera-océano (MCGAO) acoplados proporcionan la más completa representación del sistema climático actualmente disponible. Se está evolucionando hacia modelos más complejos que incorporan química y biología interactivas. Los modelos climáticos se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el clima y para fines operativos, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales. Véanse también Modelo del sistema Tierra, Modelo del sistema Tierra de complejidad intermedia, Modelo de balance energético, Modelo basado en procesos, Modelo climático regional y Modelo semiempírico. (IPCC, 2013).

**Predicción climática**

Una predicción climática o pronóstico climático es el resultado de un intento de obtener (a partir de un estado particular del sistema climático) una estimación de la evolución real del clima en el futuro, por ejemplo a escalas de tiempo estacional, interanual o decenal. Como la evolución futura del sistema climático puede ser muy sensible a las condiciones iniciales, estas predicciones suelen tener carácter probabilístico.

**Proyección climática**

Respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o de concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles, frecuentemente basada en simulaciones mediante modelos climáticos. Las proyecciones climáticas se diferencian de las predicciones climáticas por su dependencia del escenario de emisiones/concentraciones/forzamiento radiativo utilizado, basado en supuestos relativos, por ejemplo, a un devenir socioeconómico y tecnológico que puede o no materializarse (IPCC, 2013).

**Tiempo**

El tiempo es una descripción del estado de la atmósfera en un momento determinado (por ejemplo al mediodía) y está definido por variables como la temperatura, presión atmosférica, dirección y fuerza del viento, cantidad de nubes, humedad, entre otras. Se podría decir que el tiempo es algo instantáneo, cambiante y de cierto modo irrepetible. No es lo mismo el tiempo al mediodía que a las seis de la tarde.

**Variabilidad climática** Denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa).

**Zona de convergencia intertropical (ZCIT)**

Franja zonal ecuatorial de bajas presiones, fuerte convección e importantes precipitaciones, próxima al ecuador, en que los vientos alisios del nordeste se encuentran con los del sureste. Esta franja se desplaza estacionalmente.

## 10. Siglas

ANA	Agencia Nacional de Aguas
ANNP	Administración Nacional de Navegación y Puertos
AOGCM	Atmosphere-Ocean Global Climate Model
AR-III	Asociación Regional III
CC	Cambio Climático
CCI	Comisión de Climatología
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramiento y Alerta de Desastres Naturales
CIC	Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata
CIMA	Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera
CONICET	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
CPC	Climate Prediction Center
CPTEC	Centro de Predicción de Tiempo y Estudios Climáticos
CRC	Centro Regional de Clima
CRC-SAS	Centro Regional de Clima para el Sur de América del Sur
CRU	Climate Research Unit
CSB	Comisión de Sistemas Básicos
DAAE	Departamento de Aguas y Energía Eléctrica del Estado de São Paulo
DMH	Dirección de Meteorología e Hidrología
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DINAC	Dirección Nacional de Aeronáutica Civil
DINAGUA	Dirección Nacional de Aguas
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GOS	Global Observation System
INA	Instituto Nacional de Agua
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
INUMET	Instituto Uruguayo de Meteorología
INMET	Instituto Nacional de Meteorología
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MMSC	Marco Mundial para los Servicios Climáticos
MCG	Modelo Climático Global
MCTI	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación
MMSC	Marco Mundial para los Servicios Climáticos
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	Organización Meteorológica Mundial
RCM	Regional Climate Model
RCP	Representative Concentration Pathways
SALLJ	South American Low Level Jet
SAT	Sistema de Alerta Temprana
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SIMEPAR	Sistema Meteorológico de Paraná
SINAE	Sistema Nacional de Emergencias
SMHN	Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SSRH	Subsecretaría de Recursos Hídricos
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UDELAR	Universidad de la República
UBA	Universidad de Buenos Aires
UNA	Universidad Nacional de Asunción
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
UTC	Tiempo Universal Coordinado
VC	Variabilidad Climática
WIGOS	WMO Integrated Global Observation System
WHYCOS	World Hydrological Cycle Observing System
WMO	World Meteorological Organization
ZCAS	Zona de Convergencia del Atlántico Sur

## 11. Referencias

Andrade, K. M., 2005. Climatologia 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. *Int. J. Climatol.* 24, 415–435.

Cavalcanti, I. F. A., Carril, A. F., Penalba, O. C., Grimm, A. M., Menéndez, C. G., Sanchez, E., Cherchi, A., Sörensson, A., Robledo, F., Rivera, J., Pántano, V., Bettolli, L. M., Zaninelli, P., Zamboni, L., Tedeschi, R. G., Dominguez, M., Ruscica, R., 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. *Int. J. Climatol.* 26, 1165-1180.

Diaz, A. F., Studzinski, C. D., C. R. Mechoso, 1998. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *J. Climate* 11, 251–271.

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, 2002. *J. Climate* 15, 3394 – 3410.

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.

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. *J. Climate* 13, 35-58.

Grimm, A. M., Vera C. S., Mechoso, C. R., 2004. The South American Monsoon System. In: International Workshop on Monsoons. Hangzhou, China. Proceeding... Hangzhou: World Meteorological Organization, p. 111-129.

Groisman, P., Knight, R., Easterling, D., Karl, T., Hegerl, G., Razuvaev V., 2005. Trends intense precipitation in the climate record. *In Press, Journal of Climate*

Haylock, M. R., Peterson T., Abreu de Sousa J. R., Alves L. M., Ambrizzi T., Baez J., Barbosa de Brito J. I., Barros V. R., Berlato M. A., Bidegain M., Coronel G., CORRADI V., Garcia V. J., Grimm A. M., Jaildo dos Anjos R., Karoly D., Marengo J. A., Marino M. B., Meira P. R., Miranda G. C., Molion L., Muncunil D. F., Nechet D., Ontaneda G.,

Quintana J., Ramirez E., Rebello E., Rusticucci M., Santos J. L., Varillas I. T., Vincent L., and 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, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC.

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. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

IPCC, 2013. Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

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. Ministério do Meio Ambiente – Biodiversidade 26. Brasília, DF, 2006

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 Areas, *Pure Appl. Geophys.* 165, 1941-1962.

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, 20pag.

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, 26pag.

Nogues-Paegle, J., Mo, K. C., 1997. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Mon. Wea. Rev.* 125, 279–291.

OMM N° 1065., 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. Ginebra, Suiza

OMM, 2014. Plan de ejecución del Marco Mundial para los Servicios Climáticos, Ginebra, Suiza

OMM N° 49. Reglamento Técnico, Ginebra Suiza.

Robertson, A. W., Mechoso, C. R., 1998. Interannual and decadal cycles in river flows of southeastern South America. *J. 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 Hydromet.* 7, 916–936.

Satyamurti, P., Nobre, C. A., Dias, P. L. S. South America. In: Karoly, D. J.; Vincent, D. G. *Meteorology of the Southern Hemisphere*. Boston: American Meteorology Society, 1998. v. , Cap. 3, p. 243-282.

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. 94 pp.

Tucci, C. E. M., Clarke, R. T. 1998. Environmental issues in the La Plata Basin. *Water Resources Development*, 14, 157-174.

Zamboni, L., Mechoso, C. R., Kucharski, F., 2010. Relationships between Upper-Level Circulation over South America and Rainfall over Southeastern South America. *J. Climate* 23, 3300-3315.

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.

**12. Anexos**

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

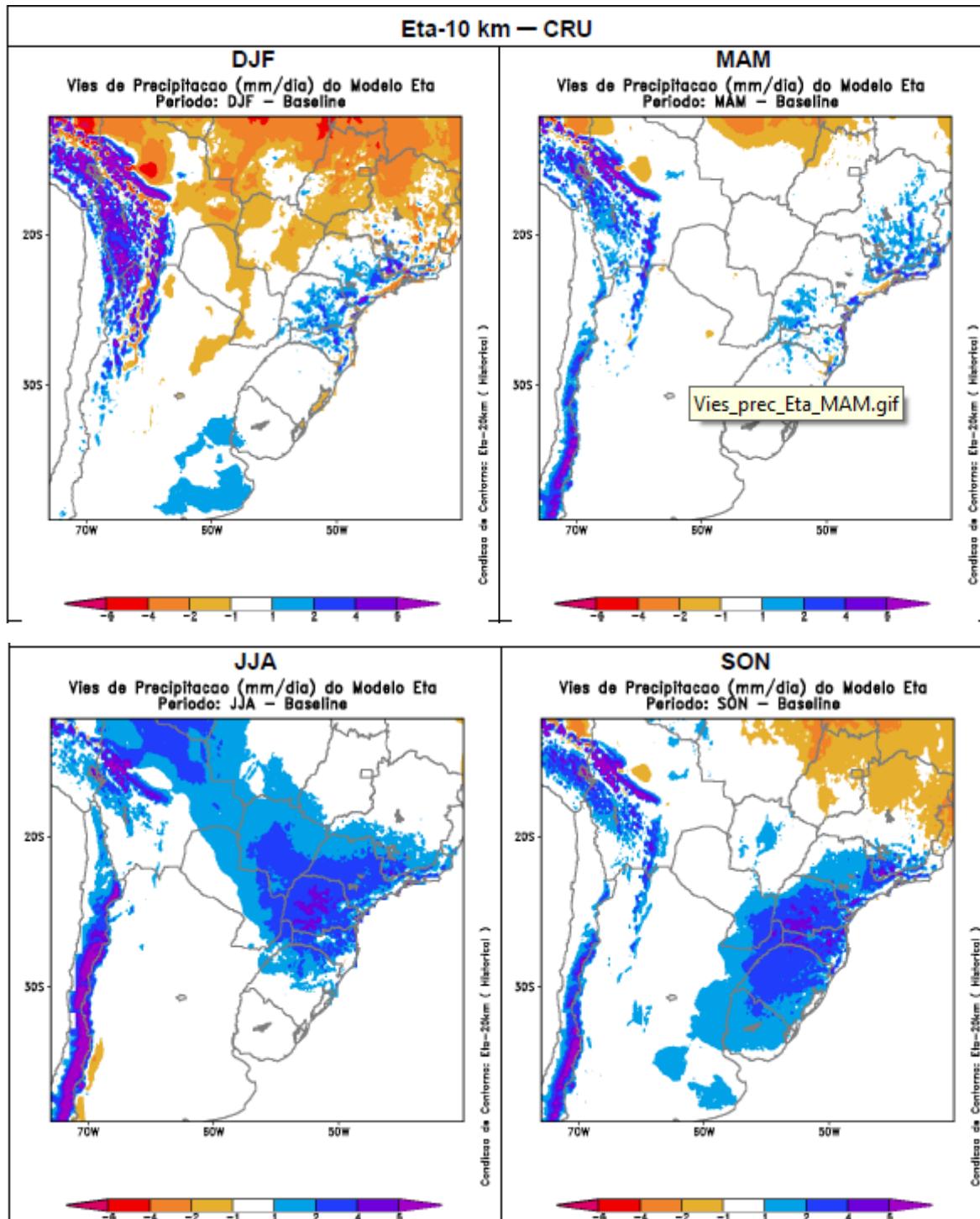


Figura 67. Desvíos estacionales de la precipitación (mm/d) del modelo ETA-10km respecto a los datos de base.

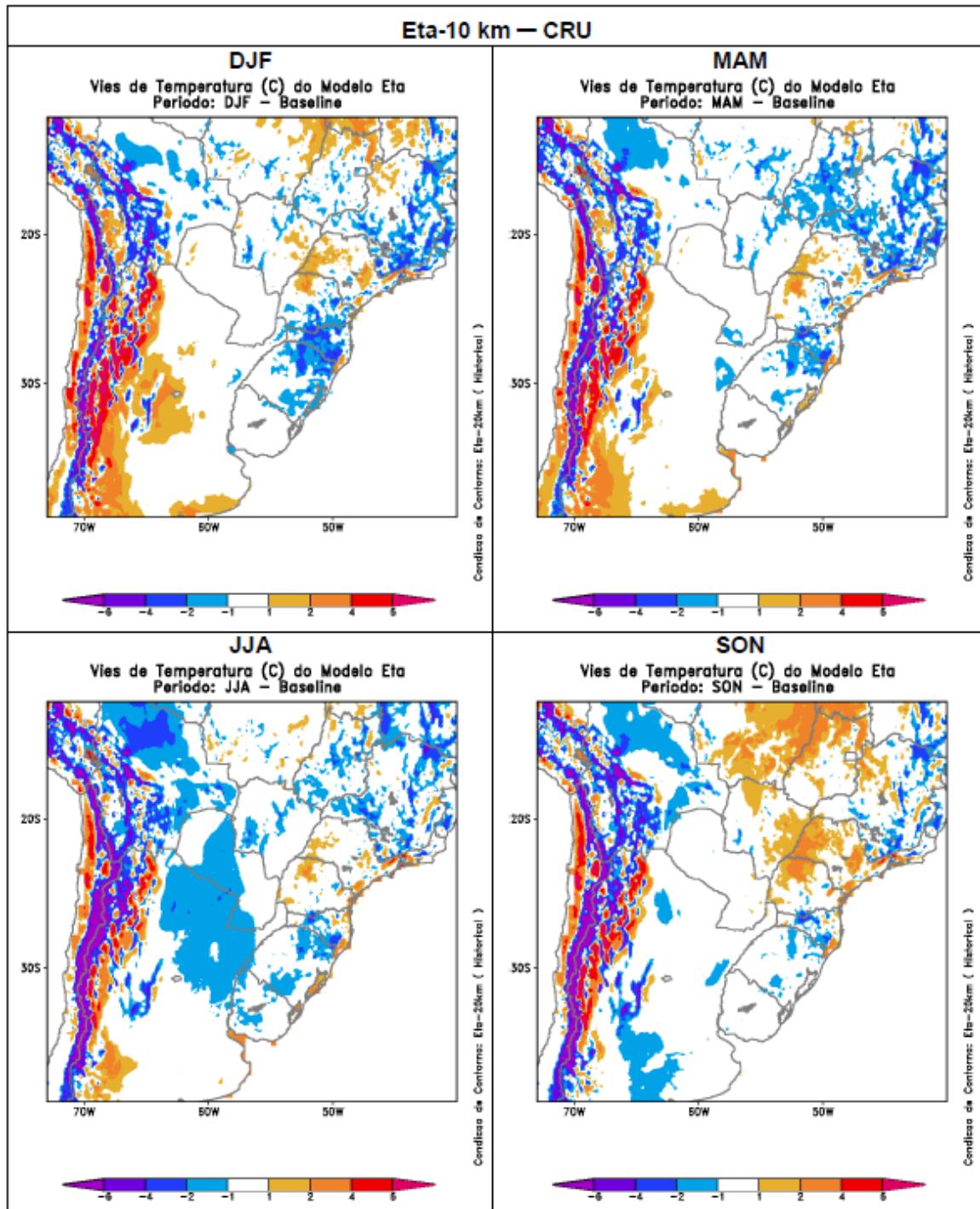


Figura 68. Desvíos estacionales de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) del modelo ETA-10km respecto a los datos de base.

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

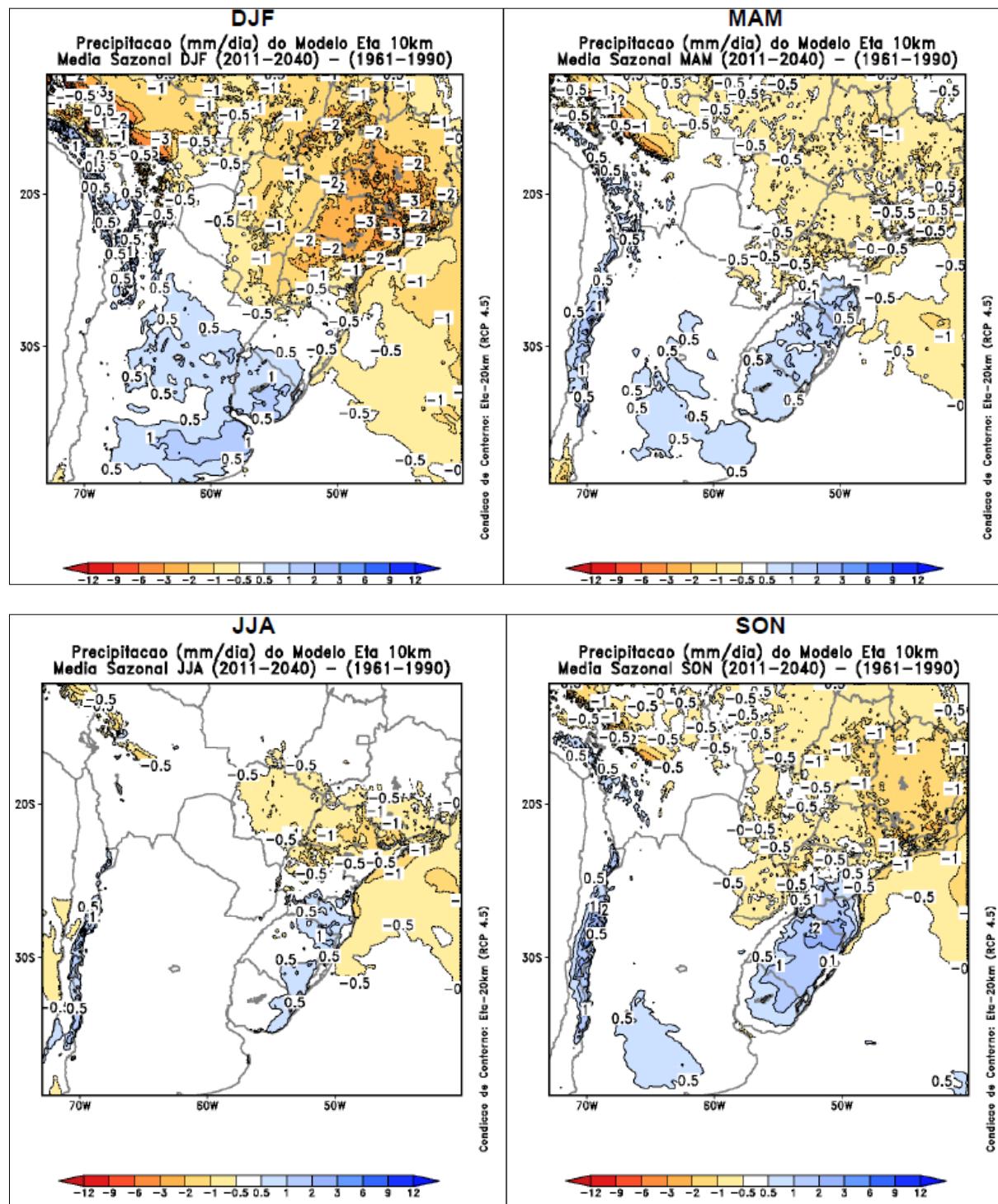


Figura 69. Anomalía media de la precipitación estacional (mm/d) para el período 2011-2041, respecto al período 1961-1990.

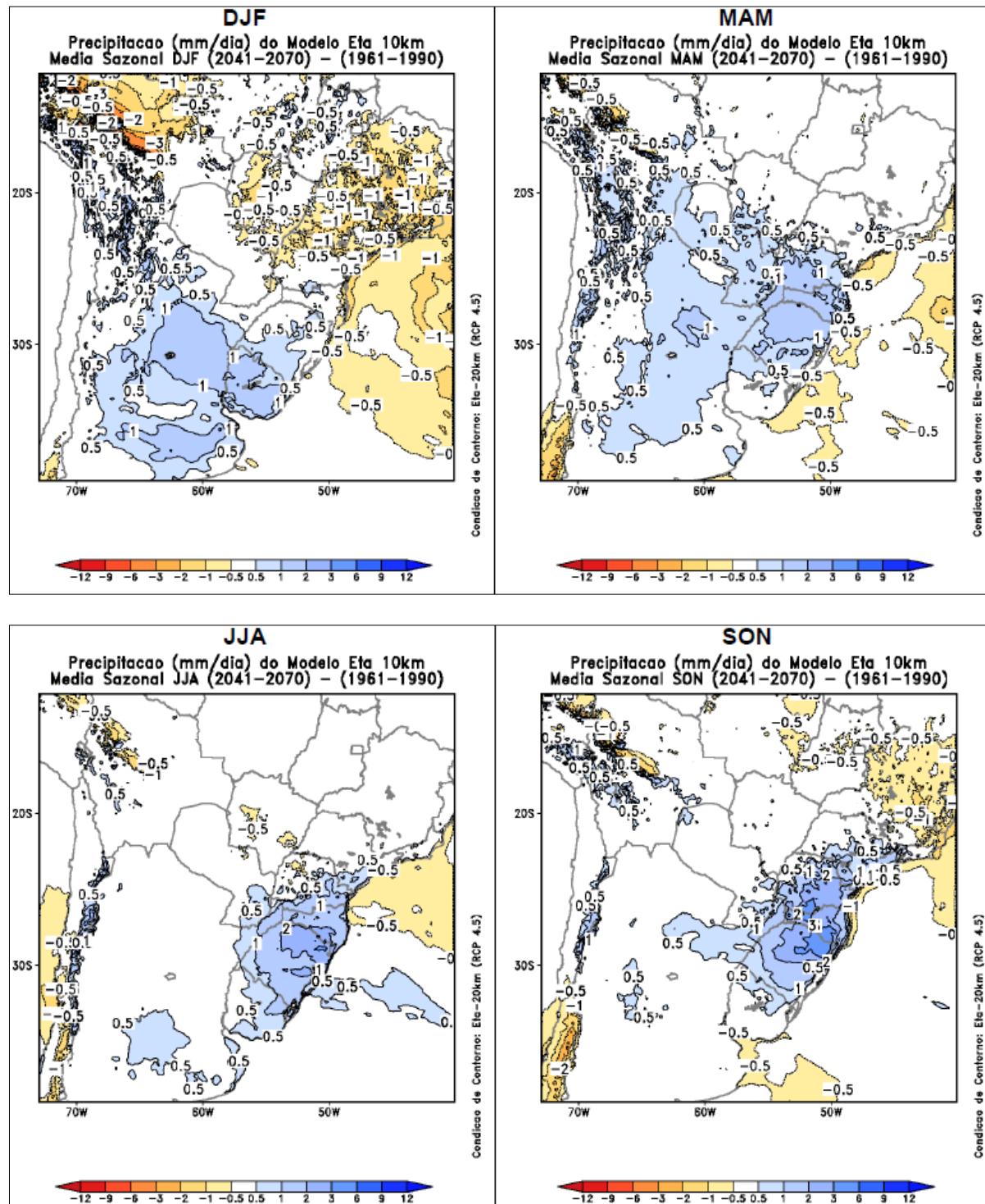


Figura 70. Anomalía media de la precipitación estacional (mm/d) para el período 2041-2071, respecto al período 1961-1990.

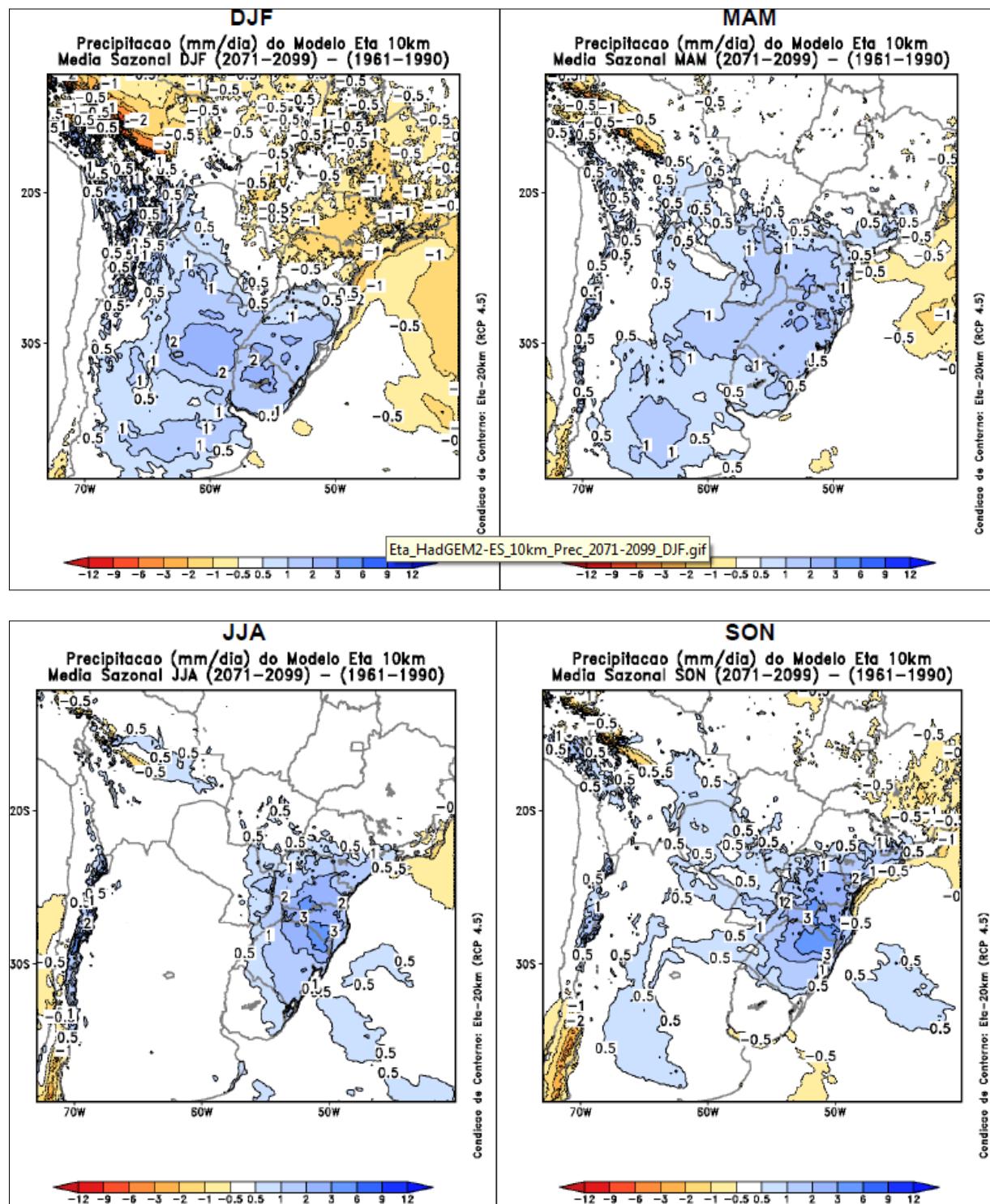


Figura 71. Anomalía media de la precipitación estacional (mm/d) para el período 2071-2100, respecto al período 1961-1990.

**Anexo 3**

**Anomalía de la Temperatura del Aire (°C)**

**2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100**

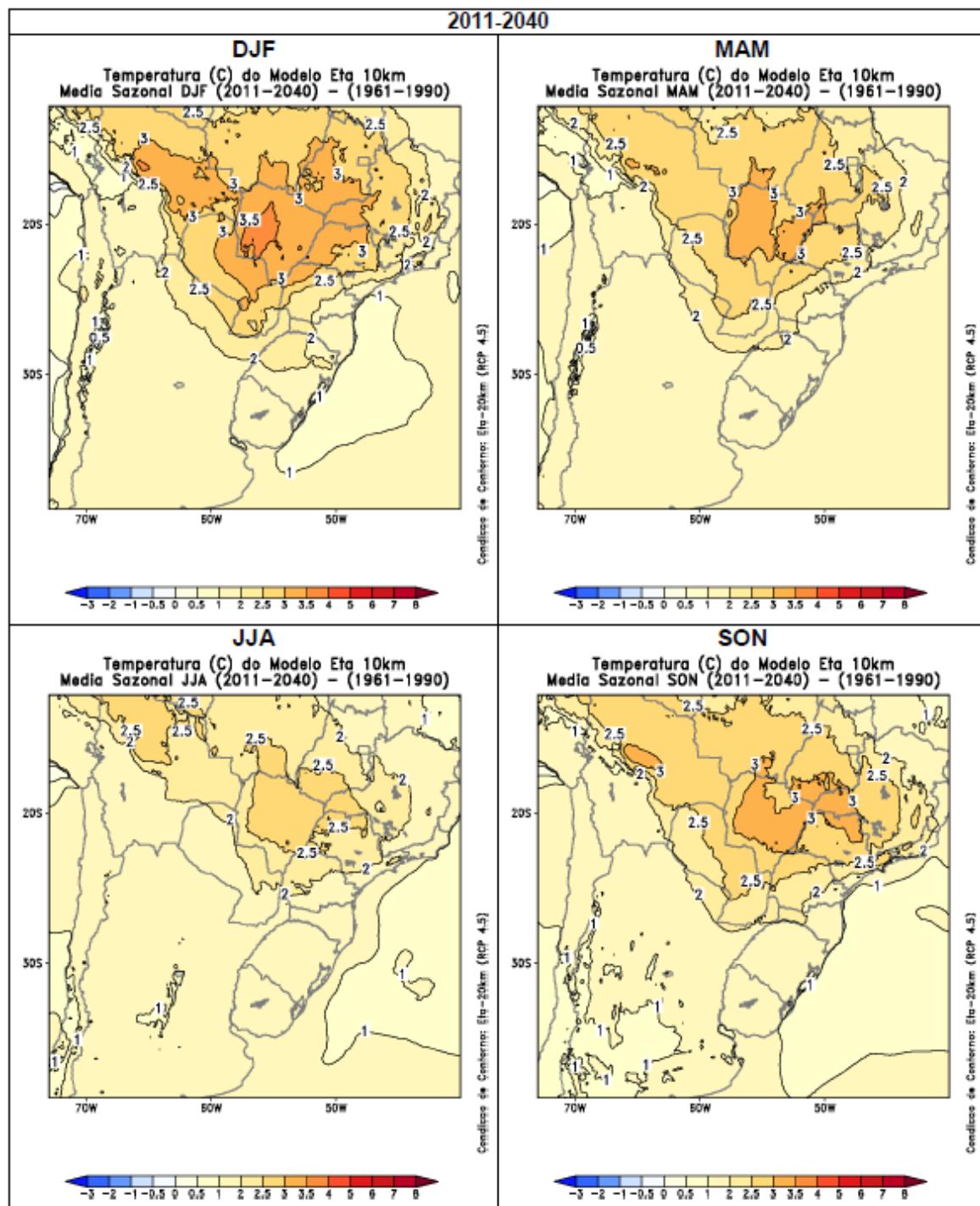


Figura 72. Anomalía media de la temperatura estacional ( $^{\circ}\text{C}$ ) para el período 2011-2041, respecto al período 1961-1990.

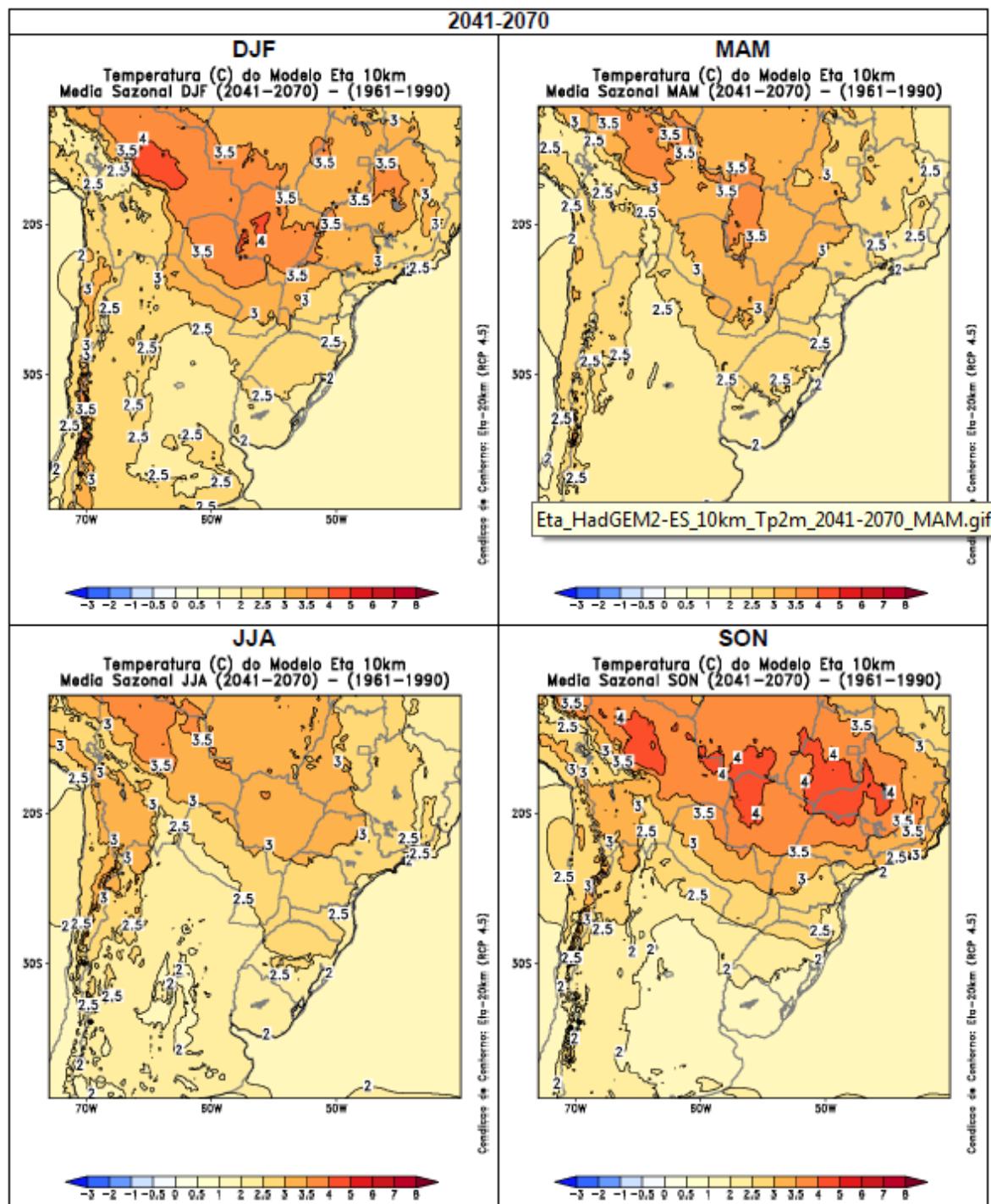


Figura 73. Anomalía media de la temperatura estacional ( $^{\circ}\text{C}$ ) para el período 2041-2071, respecto al período 1961-1990.

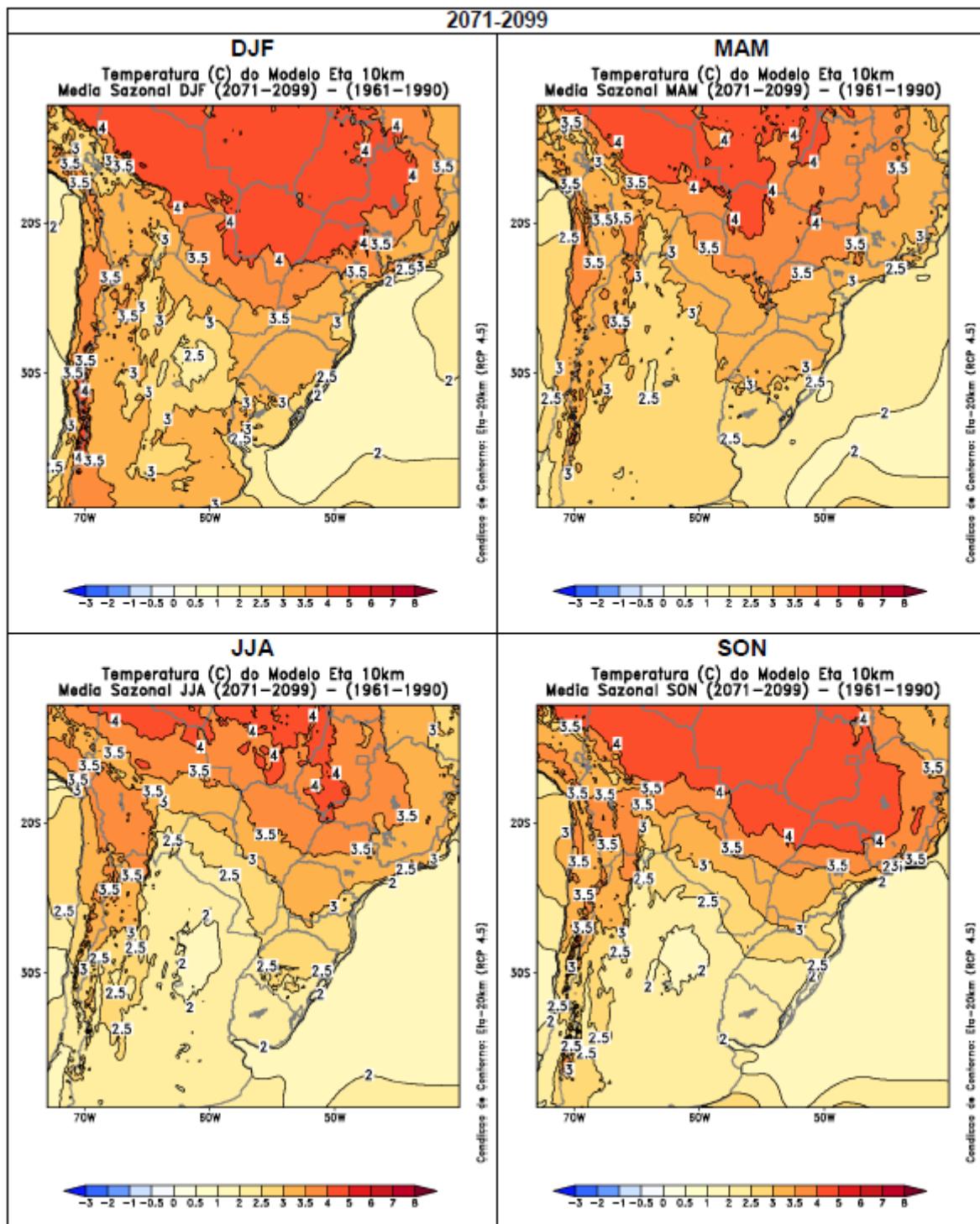


Figura 74. Anomalía media de la temperatura estacional ( $^{\circ}\text{C}$ ) para el período 2071-2100, respecto al período 1961-1990.

