

## Herramientas empleadas por el Departamento de Hidrometeorología del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para el análisis del estado hídrico en Argentina.

*Carolina Cerrudo*<sup>1,3</sup>, *Gonzalo Díaz*<sup>1</sup>, *Sabrina Juarez*<sup>1</sup>, *Karina Flores*<sup>1</sup>, *Lorena Ferreira*<sup>1</sup> y *Ramiro Saurral*<sup>2,3</sup>

(1) Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina)

(2) Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, CONICET-UBA - UMI IFAECI/CNRS.

(3) Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN-UBA.

E-mail: [ccerrudo@smn.gov.ar](mailto:ccerrudo@smn.gov.ar), [gdiaz@smn.gov.ar](mailto:gdiaz@smn.gov.ar)

**RESUMEN:** Este trabajo presenta una breve descripción de las herramientas operativas de monitoreo y predicción de factores ambientales que conducen a la generación de anegamientos e inundaciones, desarrolladas e implementadas por el Departamento de Hidrometeorología del SMN. Dentro del monitoreo diario y predicción de precipitación, se desarrolló una herramienta que utiliza en forma operativa las estimaciones satelitales de precipitación en un período de 10 días provenientes del producto IMERG\_er (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM\_early run), y los pronósticos a 6 días del modelo ETA-SMN. Este producto se actualiza en forma diaria y se realiza para cada subcuenca dentro de la Cuenca del Plata. Respecto de la hidrometría, se efectúa el seguimiento diario de las alturas hidrométricas publicadas por la Prefectura Naval Argentina. Complementando esta información, se encuentra en proceso la implementación operativa del modelo hidrológico VIC (Variable Infiltration Capacity) a escala regional, que resuelve los balances de agua y energía del sistema. Dicho modelo es forzado mediante el modelo meteorológico GFS (Global Forecasting System). El monitoreo del contenido de agua en la superficie del suelo se efectúa a partir del análisis de imágenes satelitales provenientes de diversas fuentes para determinar regiones críticas donde la ocurrencia de precipitación y/o la crecida de algún río puede tener un impacto. Esta información se complementa con informes provistos por medios de comunicación y organismos gubernamentales. A partir de la información recopilada se elabora un resumen de la situación hídrica presente, el cual se actualiza dos veces por semana dentro del informe de Perspectiva Semanal, destinado a tomadores de decisión de la defensa civil y gestión de riesgo. A futuro se propone incorporar nuevas estimaciones satelitales de precipitación como forzante para el modelo VIC, así como también evaluar el forzado del VIC con distintos modelos de pronóstico meteorológico (GFS Ensemble, WRF, ETA, etc.).

## 1. INTRODUCCIÓN

En Argentina, las poblaciones asentadas en las zonas ribereñas son las más vulnerables ante la ocurrencia de intensas precipitaciones, desmoronamientos y eventuales inundaciones (Latrubesse E. y Brea D. 2010). El impacto social y económico que tienen en la sociedad es muy alto y por ello es de importancia su continuo estudio, monitoreo y predicción para atenuar dichos impactos.

Proveer herramientas que permitan determinar situaciones potenciales para la ocurrencia de dichos eventos, es de gran importancia para organismos como los operadores de represas, autoridades de cuenca, protección civil, entre otros usuarios y tomadores de decisión en el área de los recursos hídricos. En este sentido, el SMN trabaja en el desarrollo y actualización de productos orientados a dichos usuarios.

El objetivo de este trabajo es mostrar algunas herramientas que se emplean en el monitoreo y modelado de las variables hidrometeorológicas que tienen implicancia a la hora de caracterizar el estado hídrico y prever potenciales inundaciones. Uno de los factores fundamentales para el manejo integrado y sustentable de los recursos hídricos es el monitoreo de la precipitación a nivel de las cuencas hidrográficas y en distintas escalas temporales, principalmente en escalas menores a 30 días, como ser de 7 a 10 días. El SMN ha desarrollado procesos automatizados para la generación de productos que contribuyan al monitoreo de la precipitación a escala de las subcuencas que pertenecen a la Cuenca del Plata (<http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/?mod=hidro&id=1>). La subdivisión de la información por subcuencas admite hacer un análisis específico para cada región, permitiendo hacer un seguimiento más preciso de la precipitación. Más aún, la utilización de estimaciones satelitales de precipitación permite obtener una mayor resolución espacial de la variable donde hay escasez de datos, y por lo tanto, un mayor detalle en la distribución espacial en cada subcuenca.

Otro factor importante es el del modelado hidrológico, a través de las alturas hidrométricas y caudales de ríos. Es así que hoy en día el SMN se encuentra implementando un modelo hidrológico de forma operativa sobre regiones específicas de la Cuenca del Plata, siendo la cuenca piloto la cuenca del río Uruguay. El modelo utilizado es el modelo hidrológico a macroescala ‘Variable Infiltration Capacity’ (VIC, por sus siglas en inglés) y un modelo de ruteo lineal (información de ambos modelos puede hallarse en este link: <http://vic.readthedocs.io/en/develop/>), el cual ha sido ampliamente utilizado en el ámbito científico para estudios del efecto del cambio climático en la hidrología (Christensen *et al.*, 2004), o para la evaluación de la representación de la humedad del suelo (Nijssen *et al.*, 2001). Así también, el modelo VIC es utilizado en hidrología operativa, principalmente en los Estados Unidos, como por ejemplo el caso de la Universidad de Maryland (<http://flood.umd.edu/>), la cual provee un sistema de monitoreo de inundaciones en función del VIC y el modelo de ruteo de ríos de Maryland (DRTR, por sus siglas en inglés) (Wu *et al.*, 2013).

## 2. DATOS UTILIZADOS

Para realizar el monitoreo de la variable precipitación se utiliza la información proporcionada por la red de estaciones meteorológicas de superficie del SMN de Argentina, la cual es complementada con información de la red GTS (Global Transmission System) de los países limítrofes que integran la Cuenca del Plata. Además, se utilizan datos de precipitación estimada a partir de la constelación de satélites de la Global Precipitation Measurement (GPM) de la NASA. En particular, se utiliza el producto IMERG\_er (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM\_early run), cuyas características básicas son: resolución espacial:  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ; resolución temporal: 30 minutos; dominio global:  $90^\circ\text{N} - 90^\circ\text{S}$ ; disponibilidad desde el 01 de abril de 2015.

Para definir los límites de las subcuencas se tuvieron en cuenta los datos proporcionados por el Instituto Nacional del Agua (INA) y el mapa de la clasificación de las unidades de planificación hídricas de la Cuenca del Río de la Plata.

Para realizar el monitoreo hidrométrico se utilizan en forma operativa los datos de alturas hidrométricas publicadas por la Prefectura Naval Argentina (PNA) (<http://www.prefectura naval.gov.ar/alturas/index.php>). También se dispone de información proveniente de otras fuentes, como la otorgada por el Ministerio de Infraestructura y Transporte de la provincia de Santa Fe, la Dirección Hidráulica de Entre Ríos y la Comisión Regional del río Bermejo.

Para determinar en forma cualitativa el contenido de agua sobre la superficie del suelo se utilizan imágenes satelitales. Por un lado, se dispone de las imágenes de los satélites NOAA 19, METOP-A Y METOP-B procesadas por el Departamento de Teledetección y Aplicaciones Ambientales del SMN (<http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/?mod=hidro&id=6>). Por otro lado, también se dispone de imágenes provenientes del satélite MODIS procesadas por la NASA (<http://oas.gsfc.nasa.gov/floodmap/>), y se consultan los productos generados por la Global Flooding Monitoring System (<http://flood.umd.edu/>), en la Universidad de Maryland.

Por último, el modelo VIC (Liang *et al.*, 1994) es un modelo hidrológico a *macro escala* que resuelve los balances de agua y energía del sistema, con una escala espacial de  $0.125^\circ$ . El mismo fue elaborado en la Universidad de Washington, Estados Unidos. El modelo puede correr en dos modalidades distintas: en modo de balance de energía o en modo de balance de agua. Las variables de entrada son series temporales diarias de forzantes meteorológicos (precipitación, temperatura del aire e intensidad del viento). Los flujos suelo-atmósfera, y los balances de energía y agua, son simulados en un paso temporal diario o sub-diario. Asimismo, una vez obtenidas las simulaciones de los flujos verticales y horizontales del VIC, estos fuerzan al modelo de ruteo lineal (Lohmann *et al.*, 1996; Lohmann *et al.*, 1998). Para generar las condiciones actuales de caudales de los puertos, el modelo VIC es forzado con las estaciones de la red del SMN y de la red GTS. Una vez evaluada la condición inicial, se elabora un procedimiento similar forzando el modelo con modelos numéricos de pronóstico meteorológico (hoy en día, por las salidas del modelo GFS) y así generar

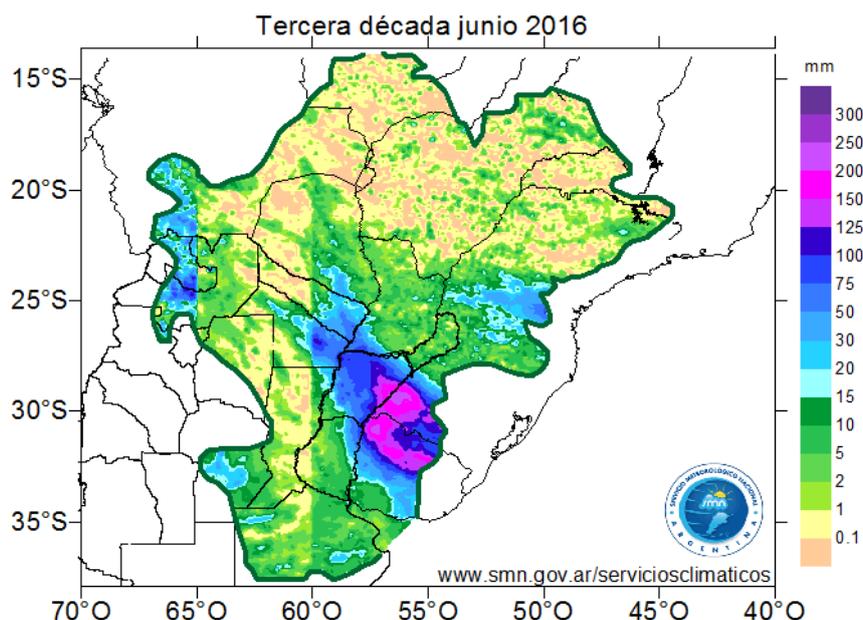
una simulación de caudales a 6 días futuros. Este procedimiento para la corrida operativa del VIC + modelo de ruteo se divide en dos procesos principales: el primer paso es la bajada de las salidas del GFS, en este se definen tres subrutinas específicas: la primera genera la bajada propiamente dicha de las salidas, la segunda produce los archivos con las variables deseadas para alimentar el modelo VIC y la tercera interpola las variables a la resolución espacial del VIC (0.125° x 0.125°) mediante el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighting). Una vez finalizada esta primera etapa, se lleva a cabo la segunda, en la cual se identifican las siguientes sentencias: primero se hace un análisis de la base de datos de observaciones para encontrar valores erróneos, luego se genera la interpolación de estos datos a la escala del modelo (al igual que se hacía con los datos obtenidos de las salidas del GFS) mediante el método de Kriging, en tercer lugar se elaboran los archivos en el formato adecuado para el modelo VIC (en este paso se desprende una subrutina que genera la unión de los datos observados con los datos modelados por el GFS), a continuación se elaboran los archivos de control necesarios para correr los modelos VIC y de ruteo. Finalmente, el último paso, es la corrida propiamente dicha de estos modelos y se generan los archivos de salida de caudal modelado.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Monitoreo hidrometeorológico

##### 3.1.1 Estimación satelital de la precipitación por subcuenca

El SMN realiza diversas tareas de monitoreo de la precipitación a nivel nacional y para la Cuenca del Plata en distintas escalas temporales: diaria, decádica (10 días), mensual y anual (<http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/?mod=hidro&id=14>).

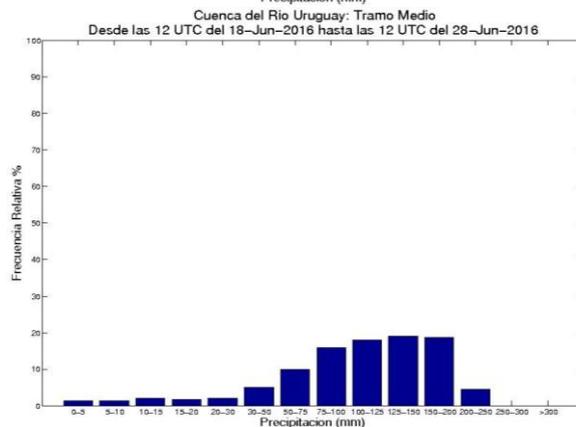
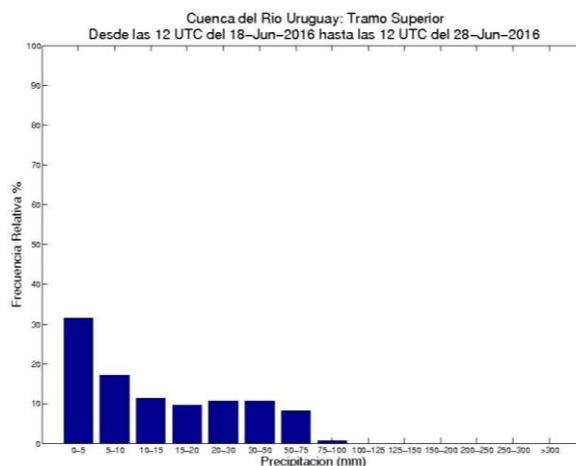
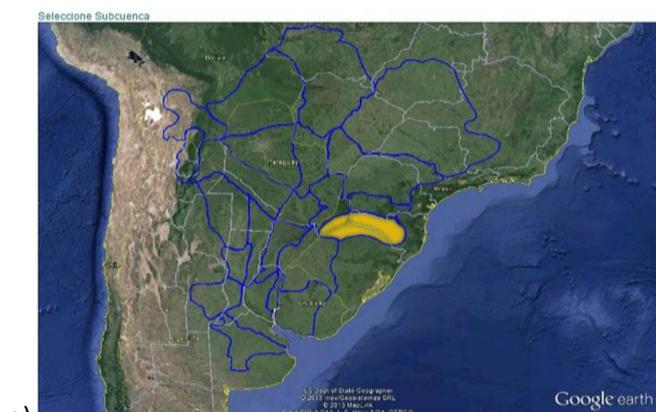


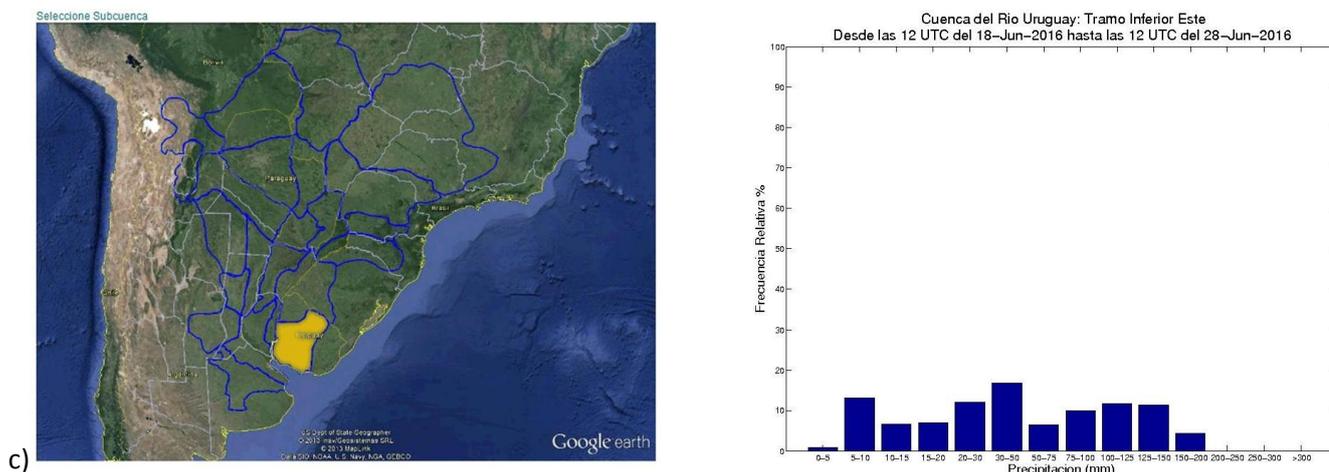
**Figura 1.** Campo de precipitación estimada (IMERG\_er, mm) para los últimos diez días del mes de junio de 2016 en la Cuenca del Plata.

A modo ilustrativo se presenta en la **Figura 1** el campo de precipitación estimada satelitalmente para los últimos diez días del mes de junio de 2016 para la Cuenca del Plata, donde se observan los mayores valores de precipitación acumulada en el centro - este de la provincia de Corrientes, norte de Uruguay y sur de Brasil, con montos que superaron los 150 milímetros en diez días.

El monitoreo diario de las precipitaciones registradas en escala de subcuenca es de gran importancia para diversos usuarios encargados de evaluar la potencial disponibilidad de los recursos hídricos. En la página web de Servicios Climáticos del SMN (<http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos/?mod=hidro&id=19>) se actualiza en forma diaria un producto en el cual se representa la frecuencia relativa porcentual de la precipitación estimada mediante información satelital (GPM) en las distintas subcuencas de la Cuenca del Plata. Este producto permite realizar en forma diaria un monitoreo del comportamiento de la precipitación acumulada en los últimos 10 días (decádica), y representa en forma resumida la distribución de los valores de precipitación 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.

La **Figura 2** presenta los gráficos de frecuencia relativa de ocurrencia de valores de precipitación estimada para distintos intervalos (histograma) entre el 18 y 28 de junio de 2016, en la subcuenca del río Uruguay para sus tres tramos.





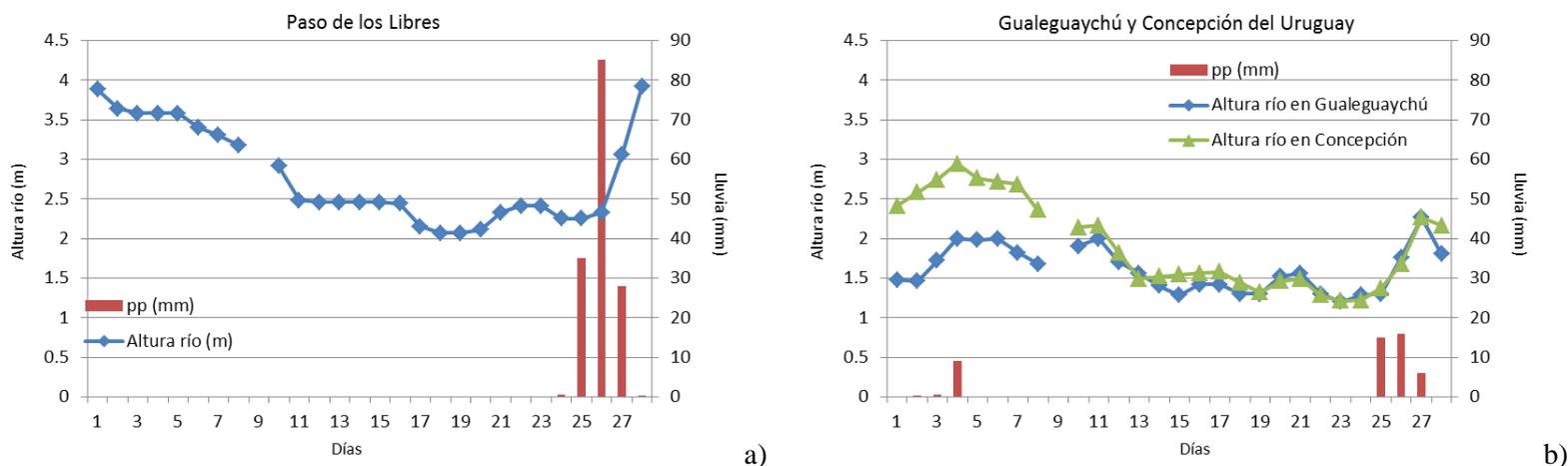
**Figura 2.-**Ubicación de cada región sombreado en color amarillo (panel izquierdo) y representación de la frecuencia relativa de los valores de precipitación estimada (IMERG\_er) para distintos intervalos (panel derecho), en la subcuenca del Uruguay, en sus tramos: (a) alto o superior, (b) medio y (c) inferior o bajo.

En el eje horizontal de las figuras que se observan en el panel derecho, se representan los valores de precipitación en forma de intervalos (los mismos intervalos que se observan en la **Figura 1**), mientras que en el eje vertical, se indica la frecuencia relativa en porcentaje. Es decir, la cantidad de puntos dentro del dominio de la subcuenca con respecto al total de la misma en los cuales se registra un valor de precipitación en un intervalo determinado. La distribución de la precipitación estimada para el tramo superior de la cuenca (**Figura 2.a**) muestra que aproximadamente el 70% de los puntos de la cuenca registraron valores inferiores a 20mm, y que casi un 10% del área total toma valores mayores a 50mm. Por su parte, la distribución de la precipitación estimada para el tramo medio de la cuenca (**Figura 2.b**) muestra que aproximadamente el 60% de los puntos de la cuenca registraron valores de precipitación entre 100mm y 200mm, y que alrededor de un 5% del área total toma valores entre 220mm y 250mm. Cabe destacar la utilidad de este tipo de gráficos, ya que de una manera rápida puede inferirse que, en el tramo superior de la cuenca la mayor cantidad de puntos registraron bajos valores de precipitación estimada, mientras que en el tramo medio ocurre lo inverso, con elevados valores de precipitación estimada en gran parte de la cuenca. Continuando con el análisis, puede concluirse que en el tramo inferior este de la cuenca (**Figura 2.c**) la distribución espacial de la precipitación se encuentra más repartida entre los posibles valores.

### 3.1.2 Hidrometría

Se efectúa el seguimiento diario de las alturas hidrométricas publicadas por PNA, con énfasis en el monitoreo de los puertos que superan el nivel de alerta y evacuación. Asimismo, se recibe información de la red telemétrica perteneciente al Ministerio de Infraestructura y Transporte de la provincia de Santa Fe y se consultan los informes de Alerta Hidrológico para la Cuenca del Plata que emite el INA, así como también los informes elaborados por la Entidad Binacional Yacyretá. Otras fuentes utilizadas proveedoras de este tipo de información son la Dirección Hidráulica de Entre Ríos y la Comisión Regional del río Bermejo.

A modo de ejemplo en la **Figura 3** se presenta la evolución de la altura del río Uruguay medida en los puertos de Paso de los Libres, Gualeguaychú y Concepción del Uruguay entre el 01 y el 28 de junio de 2016. También se presenta la evolución diaria de la precipitación observada en las estaciones meteorológicas disponibles más cercanas a dichos puertos.

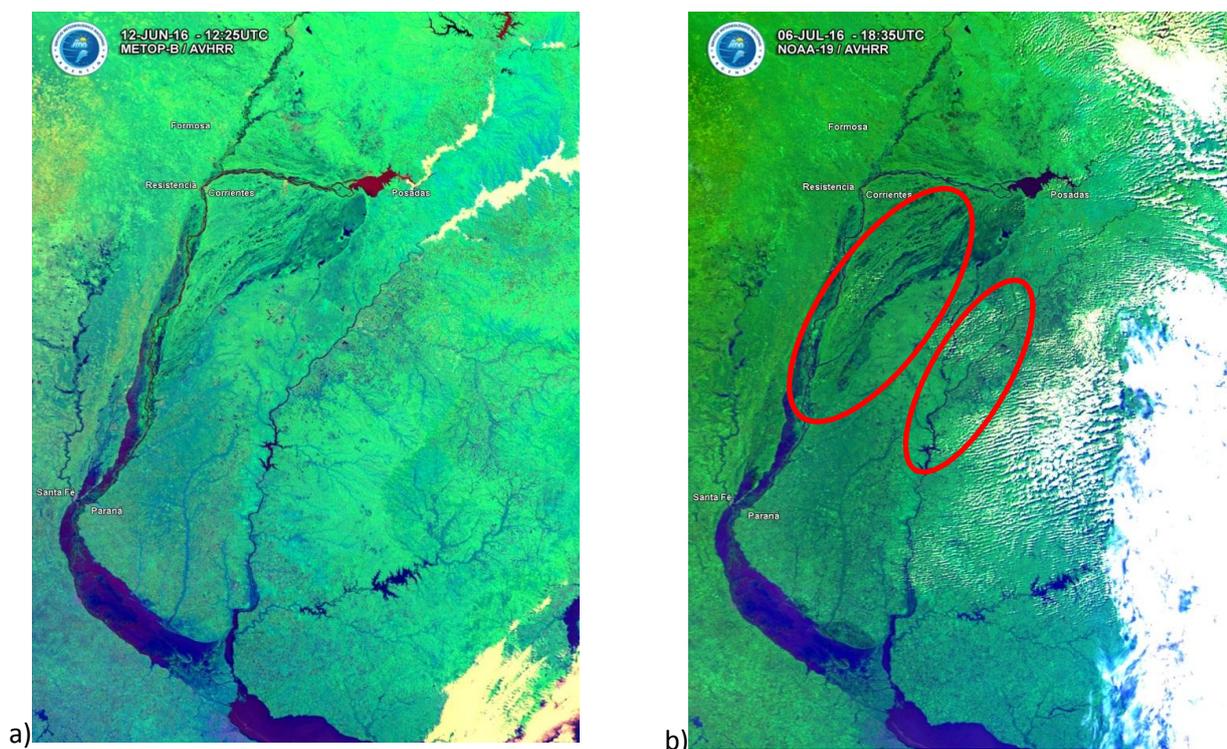


**Figura 3.-**Evolución diaria de las alturas de los ríos en (a) Paso de los Libres, (b) Gualeguaychú y Concepción del Uruguay, y evolución diaria de la precipitación observada en (a) Paso de los Libres, (b) Gualeguaychú. Período transcurrido del 01 al 28 de junio de 2016.

Puede observarse en la **Figura 3.a** una disminución en la altura del río medido en Paso de los Libres hasta el día 19, así como también un importante aumento que tiene lugar a partir del día 26, luego de registrarse intensas precipitaciones en la región. Los niveles observados en los puertos de Gualeguaychú y Concepción del Uruguay (**Figura 3.b**) presentan un aumento a principio de mes, para luego disminuir hasta aproximadamente el día 24, día a partir del cual se observa nuevamente un aumento, probablemente asociado a las precipitaciones ocurridas en la región, las cuales fueron más intensas en el tramo medio de la cuenca (**Figuras 1 y 2**). Hasta ese momento los niveles observados en los tres puertos, se encuentran lejos de alcanzar sus respectivos niveles de alerta y evacuación.

### 3.1.3 Contenido de agua del suelo

El monitoreo del contenido de agua en la superficie del suelo se efectúa a partir del análisis de imágenes satelitales provenientes de diversas fuentes para determinar regiones críticas donde la ocurrencia de precipitación y/o la crecida de algún río podría tener un impacto en la población. Esta información se complementa con informes provistos por medios de comunicación y organismos gubernamentales, como la Secretaría de logística, cooperación en emergencias y gestión cultural (Ministerio de Defensa), y la Dirección Nacional de Análisis de Riesgo (Secretaría de Protección Civil y Abordaje Integral de Emergencias y Catástrofes). La **Figura 4** muestra imágenes de los satélites METOP-B y NOAA 19 procesadas por el Departamento de Teledetección y Aplicaciones Ambientales del SMN.



**Figura 4.**-Imágenes satelitales combinación de bandas (RGB 1-2-4) a) satélite METOP – B / AVHRR para el 12 de junio de 2016 a las 12:25 UTC (09:25 hora local), b) satélite NOAA – 19 / AVHRR para el 06 de julio de 2016 a las 18:35 UTC (15:35 hora local). Se indican con óvalos rojos las áreas que presentan mayor contenido de agua sobre la superficie en comparación con el tiempo anterior.

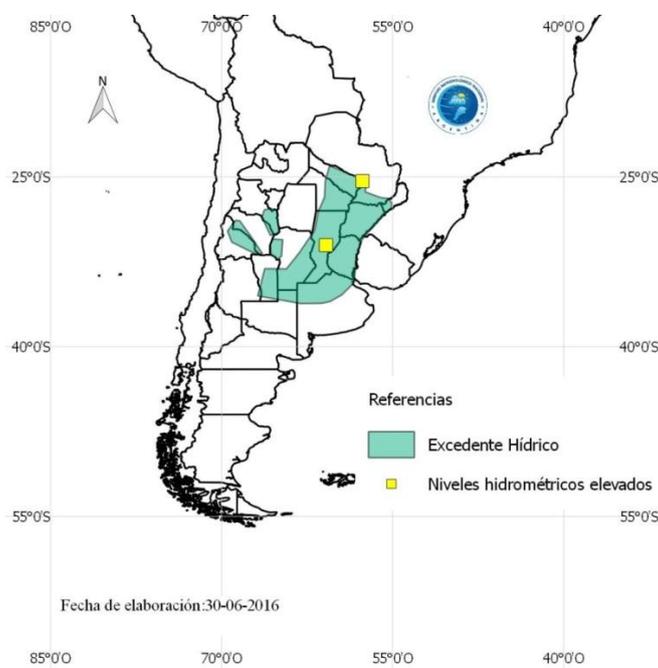
Dichas imágenes son el resultado de la composición a color de tres bandas, a partir de las cuales se puede observar en color azul brillante los ríos, lagunas y áreas anegadas. Los tonos de azul menos intensos corresponden a distintos niveles de humedad del suelo. Puede observarse a partir de la comparación entre las **Figuras 4 a y b** un mayor contenido de agua sobre la superficie en la franja sudeste y oeste de la provincia de Corrientes en la imagen correspondiente al 06 de julio, probablemente debido a las precipitaciones registradas los últimos días del mes de junio.

### 3.1.4 Mapa de la situación hídrica

El monitoreo diario de la precipitación ocurrida en la Cuenca del Plata, la evolución de la altura de los ríos y el análisis de imágenes satelitales que brindan información sobre el contenido de agua sobre la superficie del suelo, permiten definir áreas que presentan excedente hídrico, o bien áreas que se encuentran en riesgo de tener algún excedente frente a la probabilidad de ocurrencia de futuras lluvias. Para determinar dichas áreas es fundamental el aporte de los medios de comunicación y de los organismos gubernamentales que proveen datos concretos acerca de regiones afectadas por inundaciones. A partir de la recopilación de esta información, se elabora a modo de resumen un mapa de la Situación Actual hídrica, el cual incluye áreas de excedente hídrico y niveles hidrométricos elevados (que superan el nivel del alerta o evacuación). Dicho mapa se actualiza dos veces por semana dentro del informe de Perspectiva Semanal publicado en la página

principal del SMN (<http://www.smn.gov.ar>), destinado especialmente a tomadores de decisión de la defensa civil y gestión de riesgo.

En la **Figura 5** se muestra la Situación Actual hídrica al día 30 de junio de 2016. En recuadros amarillos se indica la posición de los puertos que registran a la fecha niveles hidrométricos por encima del nivel de alerta o evacuación, en este caso se trata de Pilcomayo y la estación telemétrica Emilia en la provincia de Santa Fe.



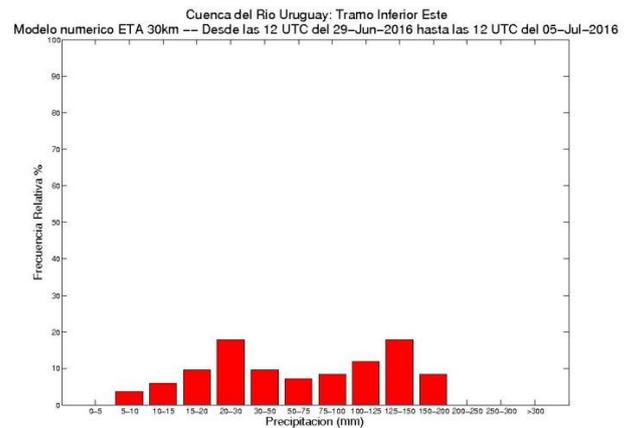
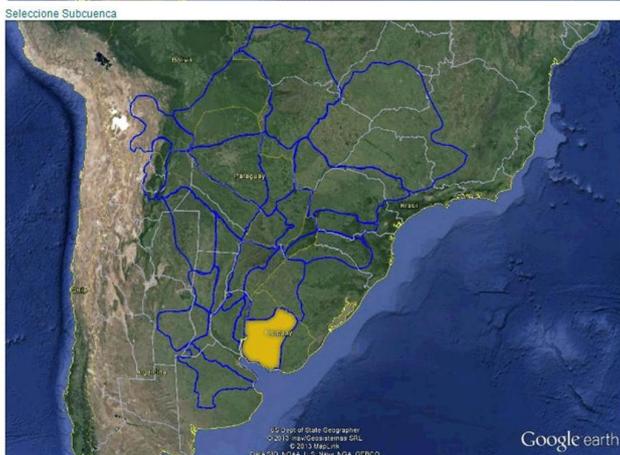
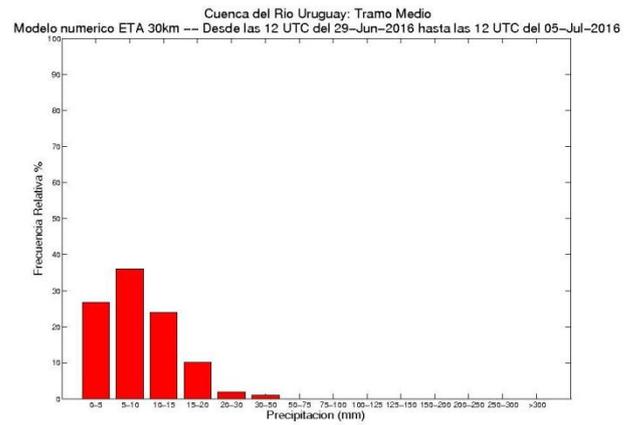
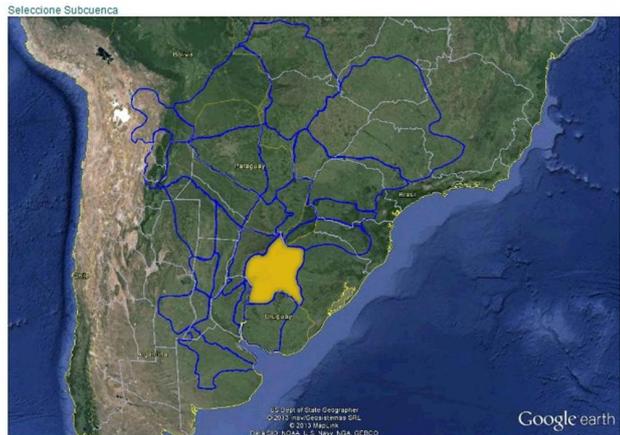
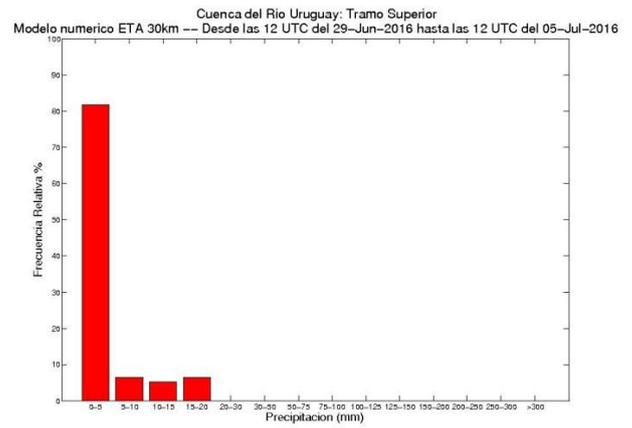
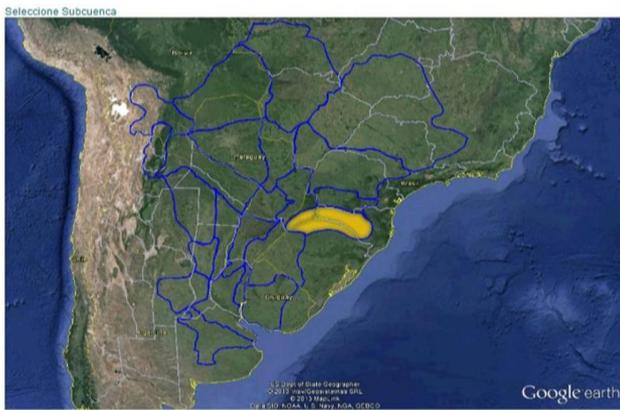
**Figura 5.**-Resumen de la situación actual hídrica para el día 30 de junio de 2016.

En color verde se indican las áreas que presentan excedente hídrico, donde se destaca principalmente la región del Litoral, norte de Buenos Aires y sur de Córdoba, las cuales se vieron afectadas durante los últimos meses por excedentes, y donde las precipitaciones registradas en el mes de junio empeoraron la situación en el norte del Litoral. También se observan áreas con excedente hídrico al sur de Catamarca, oeste de Córdoba, norte de San Juan y centro sur de San Luis, las cuales fueron afectadas por intensas nevadas y sucesivos días de precipitaciones que hicieron superar ampliamente los valores mensuales esperados para la región.

### 3.2 Modelado hidrometeorológico

Una vez evaluada y analizada la situación hídrica actual en el dominio que comprende, particularmente, a la Cuenca del Plata, se lleva a cabo la identificación de las precipitaciones simuladas por el modelo ETA en su resolución de 30 km (histogramas) para cada subcuenca hidrográfica perteneciente a la cuenca (como complemento de lo presentado en la **Figura 2**).

Para continuar el análisis realizado hasta el día 28 de junio a partir de las **Figuras 2 y 3**, a modo de ejemplo, se muestra en la **Figura 6** la precipitación simulada por el modelo ETA para los siguientes seis días, inicializada el 29 de junio del 2016, para las tres secciones de la cuenca Uruguay (alta, media y baja). Se presentan en formato de histograma, como se explicó en la **Figura 2**.

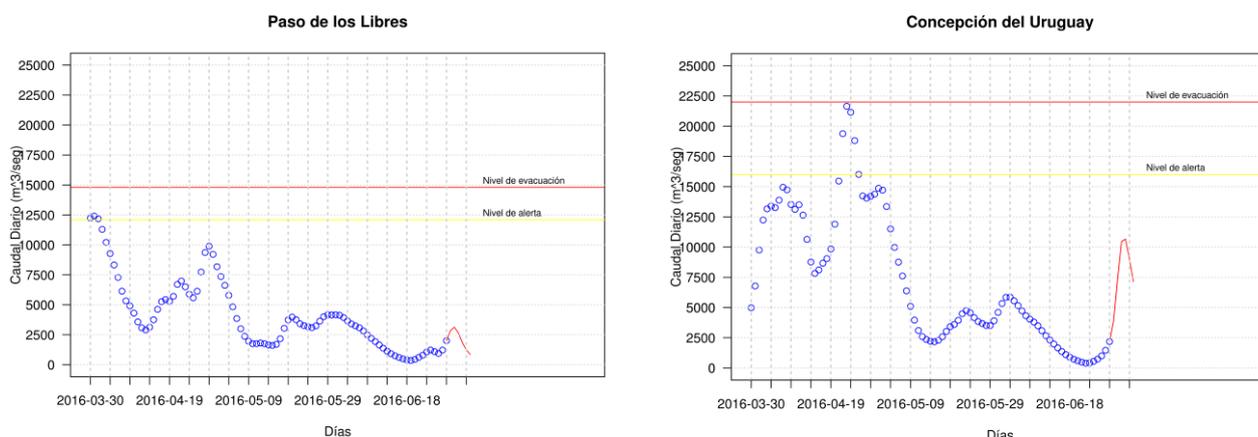


**Figura 6.-**Ubicación de cada región sombreado en color amarillo (panel izquierdo) y representación de la frecuencia relativa de los valores de precipitación simulada con el modelo ETA de 30 km para los siguientes 6 días inicializando el 29 de junio, para distintos intervalos (panel derecho), en la subcuenca del Uruguay en sus tramos: (a) alto o superior, (b) medio y (c) inferior o bajo.

A partir de la **Figura 6** puede apreciarse que el tramo que presenta una tendencia a que ocurran precipitaciones mayores es el tramo del curso inferior (**Figura 6.c**). Por su parte, las precipitaciones simuladas por el modelo ETA a lo largo de los tramos superior y medio no superarían los 30mm-50mm (**Figura 6.a** y **6.b**). De este análisis se concluye que es probable que ocurran precipitaciones en los próximos 6 días siguientes al 28 de junio que puedan afectar de forma significativa el caudal del río en la sección de la cuenca baja del río Uruguay.

### 3.3 Modelado hidrológico

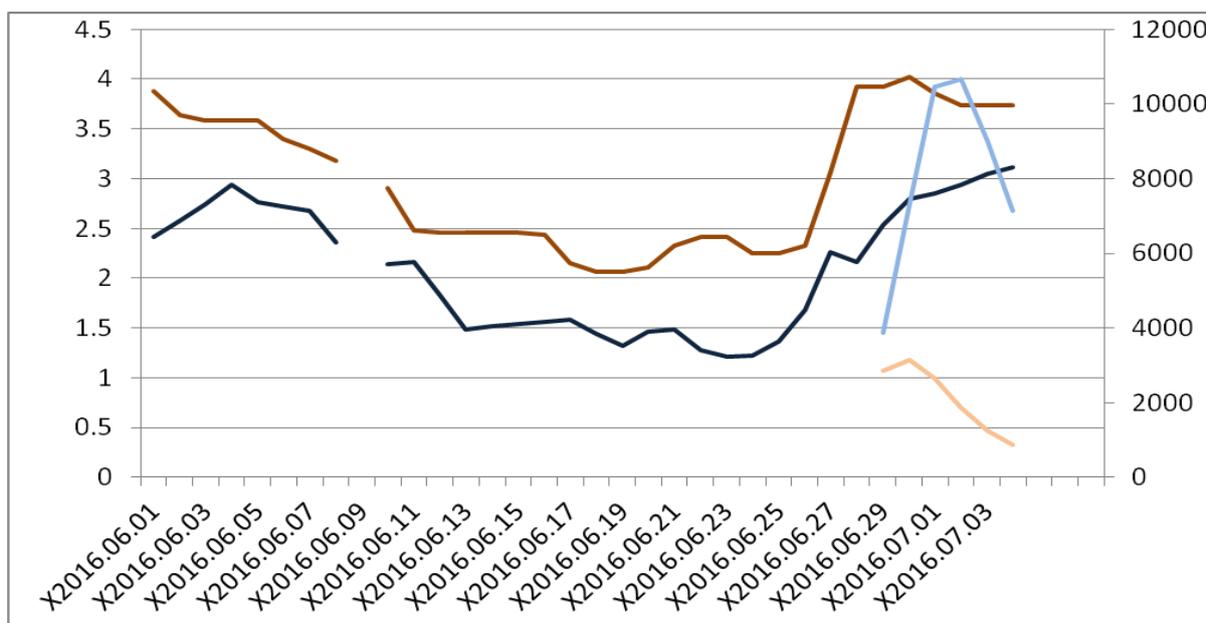
Finalmente, se analiza el pronóstico hidrológico forzando el modelo VIC con las salidas de la corrida determinística del GFS en su resolución de 0.25°. Asimismo, analizamos los hidrogramas para los puertos ubicados en la cuenca media (Paso de los Libres) y en la baja (Concepción del Uruguay). De esta manera, se pueden comparar los resultados en función de las precipitaciones esperadas para los siguientes 6 días y su potencial impacto en el caudal del río. La **Figura 7** muestra los hidrogramas para estos dos puertos para los últimos tres meses (puntos azules) y al final del período se observa el caudal simulado por el VIC al ser forzado por el GFS (línea roja).



**Figura 7.-** Simulación VIC para condiciones iniciales en base de las observaciones (puntos azules) y en función del GFS (línea roja) para los 6 días de pronóstico: (a) Paso de los Libres y (b) Concepción del Uruguay. En línea amarilla y roja se indican los niveles de alerta y evacuación de cada uno de los puertos.

Puede observarse que el puerto Paso de los Libres (PdIL) reacciona en menor escala con respecto al puerto Concepción del Uruguay (CdU), esto se debe a que el modelado de las condiciones meteorológicas para estas fechas mostraba condiciones más desfavorables para la cuenca baja del río Uruguay, pero no así para la cuenca media (**Figura 6**). Según el modelado con VIC, se espera que el puerto CdU tenga un pico máximo de caudal a los 5 días posteriores de la fecha inicial (29 de junio del 2016) y que su valor se encuentre más próximo al nivel de alerta, a una distancia aproximada de 5000 m<sup>3</sup>/seg.

Debido a que no se cuenta con información de caudal en forma operativa, es decir, en tiempo real, se llevó a cabo una validación preliminar del modelado generado para estos 6 días. La **Figura 8** muestra la evolución de los datos de altura para PdIL y CdU (desde el 01 de junio al 04 de julio), pero así también la simulación de caudal producida en esos 6 días de pronóstico (equivalente a las líneas rojas de la **Figura 7**). Puede apreciarse en la **Figura 8** que el comportamiento general de las alturas hidrométricas son coherentes con respecto a las simulaciones que se habían generado de caudal previamente, tanto para PdIL como para CdU. En particular, para el caso de PdIL (línea naranja oscuro y naranja claro), puede identificarse claramente que para el primer día de modelación, el río presentó un aumento de la altura hidrométrica como se había registrado en la simulación.



**Figura 8.-**Datos de altura hidrométrica en metros (eje izquierdo) desde el 01/06/2016 hasta 04/07/2016 en PdIL (naranja oscuro) y CdU (azul oscuro) y caudal simulado con VIC en m<sup>3</sup>/seg (eje derecho) en los 6 días de pronóstico, comprendidos entre el 29/06/2016 y el 04/07/2016, para PdIL (naranja claro) y CdU (azul claro).

Luego, tanto el modelado como la observación mostraron una tendencia descendente en la altura/caudal del puerto PdIL. De forma similar, se puede apreciar el aumento del nivel hidrométrico/caudal para CdU. Sin embargo, para el fin del período de simulación, no se observa en los datos la disminución que percibía el modelo VIC.

#### 4. CONCLUSIONES

El SMN en su rol de servicio a la comunidad debe brindar herramientas y productos específicos destinados a diversos usuarios, en particular aquellos comprometidos por la ocurrencia de precipitaciones intensas y eventuales inundaciones. Por este motivo, en este trabajo se presentan las herramientas y productos con los cuales el SMN cuenta para la detección de factores ambientales que pueden ocasionar eventos severos intensos, y que afecten a la región de la Cuenca del Plata.

Las herramientas presentadas en el trabajo se agrupan dentro de tres secciones: monitoreo hidrometeorológico, modelado hidrometeorológico y modelado hidrológico. En la primera sección se mostraron las distribuciones de lluvia estimada en los últimos diez días para una de las subcuencas comprendidas en la Cuenca del Plata en base a las estimaciones de satélite provenientes del producto IMERG\_er. A partir de esta información, se obtiene una condición inicial de la situación meteorológica ocurrida en los últimos 10 días en cada subcuenca. Luego, se analiza la hidrometría para los puertos ubicados en los principales ríos de la Cuenca del Plata, la cual se encuentra directamente relacionada con la condición meteorológica de los últimos diez días. Para determinar la condición inicial hídrica del suelo se analizan las imágenes de satélite de METOP-B y NOAA 19. En base a todo este análisis, y sumado a la información provista por los medios de comunicación y organismos gubernamentales, se genera el producto final de

*Mapa de Situación Hídrica Actual.* Dicho mapa resume en forma esquemática las regiones que podrían ser afectadas en forma más sensible por eventos meteorológicos que pudieran producirse posteriormente en la región, y forma parte del informe de Perspectiva Semanal, destinado a tomadores de decisión de la protección civil. En la sección de *modelado hidrometeorológico*, se analizan las precipitaciones modeladas por el modelo numérico ETA para los siguientes 6 días en cada una de las subcuencas de la Cuenca del Plata, permitiendo identificar la región que podría llegar a verse afectada por precipitaciones. Por último, en la sección de *modelado hidrológico* se observa el hidrograma elaborado por el modelo VIC y el modelo de ruteo para algunos puntos específicos de la cuenca (en este caso de la cuenca Uruguay). Las condiciones para inicializar el modelo están principalmente dadas por la etapa de monitoreo hidrometeorológico y luego por el forzado con la salida determinística del modelo numérico de pronóstico GFS. Para el caso de ejemplo en la cuenca Uruguay, pudo observarse que las tendencias de altura/caudal de los puertos analizados fueron correctamente representadas por el modelo. Sin embargo, a futuro queda por analizar cuantitativamente cual es el grado de ajuste del modelo a las observaciones. Para esta tarea se propone utilizar las curvas de altura-caudal de los puertos, brindadas por la Subsecretaría de Recursos Hídricos, y junto con los datos de altura de Prefectura Naval, obtener un dato de caudal en tiempo real y así lograr una serie continua de caudal para analizar la bondad del ajuste del modelo.

*Agradecimientos.* Al Departamento de Teledetección y Aplicaciones Ambientales del Servicio Meteorológico Nacional por brindarnos las imágenes de satélite procesadas para su posterior análisis y al Departamento de Procesos Automatizados del Servicio Meteorológico Nacional por proveernos de los archivos de datos de la red del SMN y GTS en su formato indicado para su correcta lectura operativa. Al Ing. Juan A. Borús, integrante del Área de Hidrología de la Dirección de Sistemas de Información y Alerta Hidrológico del INA, por proveer la información referente a los niveles de alerta y evacuación de los puertos.

## 5. REFERENCIAS

- Christensen N., Wood A., Voisin N., Lettenmaier D. and Palmer R., 2004: The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. *Climatic Change*, 62, pp 337-363.
- Latrubesse E. and Brea D., 2010: Floods in Argentina. *Developments in Earth Surface Processes*, 13, pp 333-349.
- Liang, X., D. P. Lettenmaier, E. F. Wood, and S. J. Burges, 1994: A Simple hydrologically Based Model of Land Surface Water and Energy Fluxes for GSMs. *J. Geophys. Res.*, 99(D7), 14, pp 415-428.
- Lohmann, D., Nolte-Holube R., and Raschke E., 1996: A large-scale horizontal routing model to be coupled to land surface parametrization schemes, *Tellus*, 48(A), pp 708-721.
- Lohmann, D., Raschke E., Nijssen B. and Lettenmaier D., 1998: Regional scale hydrology: I. Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model. *Hydrol. Sci. J.*, 43(1), pp 131-141.
- Nijssen B., Schnur R. and Lettenmaier D., 2001: Global Retrospective Estimation of Soil Moisture Using the Variable Infiltration Capacity Land Surface Model, 1980-93. *Journal of Climate*, 14, pp 1790-1808.
- Wu, H., R. F. Adler, Y. Tian, G. J. Huffman, H. Li, and J. Wang, 2013: Real-time global flood estimation using satellite-based precipitation and a coupled land surface and routing model, *Water Resour. Res.*, 50, 2693-2717, doi:10.1002/2013WR014710.