

Estimación de precipitación por satélite aplicando la técnica Hidroestimador en su versión para Sudamérica

María Paula Hobouchian¹, Yanina García Skabar^{1, 4, 5}, Daniel Barrera^{5, 6}, Daniel Vila⁷ y Paola Salio^{2, 3, 4}

¹ Departamento de Investigación y Desarrollo (SMN), Buenos Aires, Argentina

² Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN-UBA), Buenos Aires, Argentina

³ Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CONICET-UBA), Buenos Aires, Argentina

⁴ UMI-Instituto Franco Argentino sobre Estudios del Clima y sus Impactos, Buenos Aires, Argentina

⁵ CONICET, Buenos Aires, Argentina

⁶ Facultad de Agronomía (UBA), Buenos Aires, Argentina

⁷ División de Satélites y Sistemas Ambientales (CPTEC), Cachoeira Paulista, Brasil

E-mail: phobouchian@smn.gov.ar

RESUMEN: La técnica Hidroestimador para estimar la precipitación por satélite fue desarrollada en la National Oceanic and Atmospheric Administration / National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NOAA/NESDIS). Los píxeles de lluvia y no lluvia se separan de acuerdo a la diferencia entre la temperatura de brillo de un pixel en particular y el valor medio de la misma en los píxeles circundantes. La tasa de precipitación se ajusta teniendo en cuenta la humedad del entorno a partir de los datos de humedad relativa y agua precipitable de los modelos de pronóstico numérico. En Argentina, este producto volvió a estar disponible en forma operativa en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) a partir de septiembre de 2013. Se realiza con imágenes del canal infrarrojo térmico del satélite GOES-13 e información de variables del modelo numérico ETA. Los campos de precipitación instantánea están disponibles cada media hora y los campos de precipitación acumulada cada 6, 12 y 24 hs, con una resolución espacial de 4 km.

Actualmente, el Departamento de Investigación y Desarrollo del SMN se ocupa del seguimiento y aplicación de técnicas que apunten a mejorar esta estimación. En tal sentido, se ensayan diferentes cambios en el algoritmo como la incorporación de una subrutina asociada al filtrado de nubes cirrus y otras metodologías que puedan aplicarse a futuro, como también una comparación con una versión que no utiliza una subrutina relacionada con clusters de nubes. Para permitir un control y cuantificar los errores diarios de esta herramienta de trabajo, se realiza una validación cada 24hs de este producto y los cambios que se incorporan para mejorar la técnica, a partir del análisis de diferentes estadísticos utilizados para una evaluación integral y teniendo en cuenta la red de estaciones meteorológicas en superficie disponible en tiempo real.

INTRODUCCIÓN

La precipitación es vital para el desarrollo de la vida en la tierra y tiene un rol fundamental en la regulación del ciclo hidrológico, como en diferentes actividades humanas desde la agricultura hasta el turismo. Su correcta medición representa un gran desafío dada su gran variabilidad espacial y temporal. Las observaciones pluviométricas en Argentina resultan insuficientes para las aplicaciones de diversos usuarios, no se distribuyen en forma homogénea, y en la mayoría de los casos se mide con una baja resolución temporal, cada 6 horas o más frecuentemente cada 24 horas. Si bien numerosas instituciones realizan observaciones de precipitación acumulada en 24 horas, no todas comparten la información en tiempo real, lo que dificulta la utilización de la misma en tareas operativas y de toma de decisión.

La llegada de los satélites meteorológicos en los años 70, permitió avanzar en múltiples técnicas de detección de variables meteorológicas en forma remota. Las primeras técnicas utilizaron datos visibles (VIS) e infrarrojos (IR) de los satélites de órbita geoestacionaria para inferir la precipitación basándose en la energía reflejada por las nubes y la temperatura del tope de nube respectivamente. En tal sentido, el razonamiento supone que la precipitación más intensa que alcanza la superficie está asociada a nubes con mayor desarrollo vertical en la atmósfera y que tienen topes de nube más brillantes (mayor albedo) y más fríos (mayor altura) en las imágenes de satélite. Sin embargo, la emisión y dispersión de los hidrometeoros en el rango de las microondas emitidas por la superficie terrestre están más directamente relacionadas con la estructura interna de las nubes y en consecuencia con la precipitación. Los algoritmos que utilizan datos de microondas pasivas (MP) de los satélites de órbita polar, generalmente proveen estimaciones de precipitación instantánea más adecuadas que los algoritmos a partir de datos VIS o IR, aunque con resolución espacial mucho más pobre (píxeles de decenas de km de lado). De este modo, estos productos resultan de mejor calidad pero con limitaciones asociadas al tamaño del píxel y a una disponibilidad de datos cada 12 horas en el caso de los satélites operativos helio sincrónicos (como lo de la serie NOAA) y de una a dos veces por día en el caso de algunos satélites de investigación (como el AQUA y el TERRA de la NASA y el TRMM de NASA/JAXA). Además, la NASA tiene acceso en tiempo real a datos de satélites militares de los EEUU. En los últimos años, diversos grupos científicos han venido elaborando productos casi operacionales de estimaciones de precipitación cada 3 horas con una resolución de 0.25 grados de lado en latitud y longitud, combinando la información proveniente de sensores de MP de varios satélites, el sensor activo PR montado en el satélite TRMM, y la información complementaria de satélites geoestacionarios. Por tal motivo, la ventaja de los datos IR para generar una estimación de precipitación radica en una mayor resolución espacial (4 km) y temporal (cada 30 min). En este sentido, es importante disponer de herramientas en tiempos operacionales, dado que los datos del satélite GOES-13 se descargan operativamente en el SMN a fin de dar respuesta a los diversos usuarios.

Una técnica operacional de la actualidad y con larga historia es el método Hidroestimador (Scofield and Kuligowski, 2003), que surge como una modificación del método Autoestimador (Vicente et al., 1998). Esta

técnica, genera tasas de precipitación basadas en la temperatura de brillo del canal IR de los satélites de órbita geoestacionaria y factores de corrección de los modelos de pronóstico numérico.

El método Hidroestimador ha tenido importantes mejoras y diversas adaptaciones en la región de Sudamérica desde su versión original. En Argentina, la técnica fue replicada en 2001 (Barrera et al., 2001) con algoritmo y código computacional propio derivados a partir de las publicaciones de sus autores originales, y fue puesta en operación en el SMN en 2002. Este desarrollo y colaboración dieron origen al Convenio CONICET-SMN en 2004 y al registro de propiedad intelectual por el CONICET bajo el nombre PPGOES en el mismo año. Posteriormente, siguieron varias modificaciones y mejoras (Barrera et al., 2003; Barrera, 2007) y validaciones con información pluviométrica (Barrera, 2005b, a; Saldanha et al., 2007). El mapa generado de precipitación acumulada en 24hs estuvo disponible en el sitio web del SMN hasta fines de 2013.

A su vez, desde el año 2006, el SMN operó en forma paralela una versión automatizada (Vila et al., 2001) con algunas incorporaciones de la versión PPGOES. Luego de un tiempo fuera de servicio debido a cambios en la recepción de imágenes, volvió a estar disponible en forma operativa en el SMN a partir de septiembre de 2013.

Actualmente, el Departamento de Investigación y Desarrollo del SMN se ocupa del seguimiento y ensayo de mejoras en torno a esta estimación. El interés de múltiples usuarios en la distribución de la precipitación y las limitaciones en su medición en forma directa, motivan la utilización y la necesidad de conocer la calidad de este tipo de productos. El objetivo de este trabajo es exponer el control y la evaluación diaria del Hidroestimador, como así también los resultados obtenidos al incorporar cambios en la técnica con la finalidad de mejorar su rendimiento.

DATOS Y METODOLOGÍA

Estimación de precipitación

En este trabajo se utiliza la técnica Hidroestimador (HIDRO) para estimar la precipitación por satélite en forma automatizada (Vila et al., 2001), con algunas incorporaciones de la versión PPGOES (Barrera et al., 2001), y cuya versión original proviene de la NOAA/NESDIS. Este método utiliza imágenes del canal IR térmico del satélite GOES-13 y datos de humedad relativa y agua precipitable en la capa que abarca desde superficie hasta 500 hPa del modelo de pronóstico numérico ETA, que se corre operativamente en el SMN (Suaya et al., 2004). El principio que asume esta estimación se basa en que los toques de nube fríos producen precipitación más intensa que los toques de nube cálida, y de esta forma es posible estimar la tasa de precipitación asociada a la temperatura de brillo del canal centrado en $10.7\mu\text{m}$ de los satélites de órbita geoestacionaria.

La técnica separa los píxeles de lluvia y no lluvia de acuerdo a un valor construido con la media y la desviación estándar de la temperatura de brillo en un círculo centrado alrededor del píxel de interés. Las nubes en un determinado píxel producen precipitación si poseen toques más fríos que la media de los píxeles circundantes.

A su vez, se define un factor de corrección de humedad para sumar información acerca de la disponibilidad de humedad para producir precipitación como de la posible evaporación de precipitación por debajo de la base de nube. De esta forma, la idea es reducir la tasa de precipitación en entornos secos e incrementarla en entornos húmedos.

La versión de HIDRO que actualmente se encuentra operativa en el SMN (en adelante, HIDRO ACTUAL), incluye los campos de precipitación instantánea disponibles cada media hora y los campos de precipitación acumulada cada 6, 12 y 24 hs, con una resolución espacial de 4 km. En la Figura 1, se presenta un ejemplo de los respectivos campos de precipitación que se publican en la página web del SMN correspondientes al día 9 de febrero de 2014.

En cuanto a las limitaciones de esta técnica, las nubes cirrus o sistemas convectivos de mesoescala en decaimiento poseen toques fríos no precipitantes, que pueden ser fácilmente confundidos con sistemas precipitantes si se utilizan únicamente los datos del canal IR. Por otro lado, la precipitación no necesariamente se asocia a nubes frías o mixtas cuyos toques alcanzan mayor altura en la atmósfera, sino que a veces se desarrolla a partir de nubes cálidas y relativamente bajas (nimbostratus). En estos casos, la técnica falla (no asigna precipitación) pues fue desarrollada para nubes convectivas y la tasa de precipitación está ligada primariamente a la temperatura del tope de nube.

Los cirrus finos dejan pasar radiación infrarroja que proviene de nubes más bajas o de superficie, en distinta medida según su espesor, por lo que los respectivos píxeles contienen radianzas contaminadas en diferentes grados por radiación de niveles inferiores. Esto hace que un área de cirrus finos se “vea” rugosa en el campo de temperatura de brillo, lo que dificulta su filtrado por medio de técnicas de análisis espacial textural basadas en la temperatura.

A fin de minimizar la asignación de lluvia a cirrus finos, se ensaya la incorporación en el algoritmo de una subrutina asociada al filtrado de nubes cirrus (en adelante, HIDRO CIRRUS OUT), que identifica los píxeles asociados a nubes cirrus como aquellos que pertenecen a un determinado rango de temperatura de brillo en al menos un área de 4x4 píxeles, e incorpora los píxeles contiguos si pertenecen al mismo intervalo de temperatura. Para ello, se utilizan umbrales de temperatura de brillo empíricos, los cuales se deben ir ajustando mediante comparación de áreas con precipitación observada y estimada. Luego se inhibe la precipitación en estos píxeles, y a modo de control, se generan campos de temperatura de brillo para analizar en qué valores de temperatura se agrupan los píxeles filtrados. Esta subrutina está en proceso de calibración y validación.

Finalmente, se corre paralelamente una versión del Hidroestimador que no utiliza una subrutina para discriminar los clusters de nubes (en adelante, HIDRO SC). La subrutina que no se utiliza en esta versión, asigna cada píxel frío seleccionado mediante umbrales de temperatura de brillo a un sistema convectivo y determina la cantidad de sistemas y píxeles convectivos que se encontraron en cada imagen de satélite. Luego, esta información la utiliza para tener en cuenta la extensión de un sistema convectivo, y poder diferenciar mínimos locales y globales en la temperatura de brillo del sistema que inciden en el cálculo de la intensidad de la precipitación.

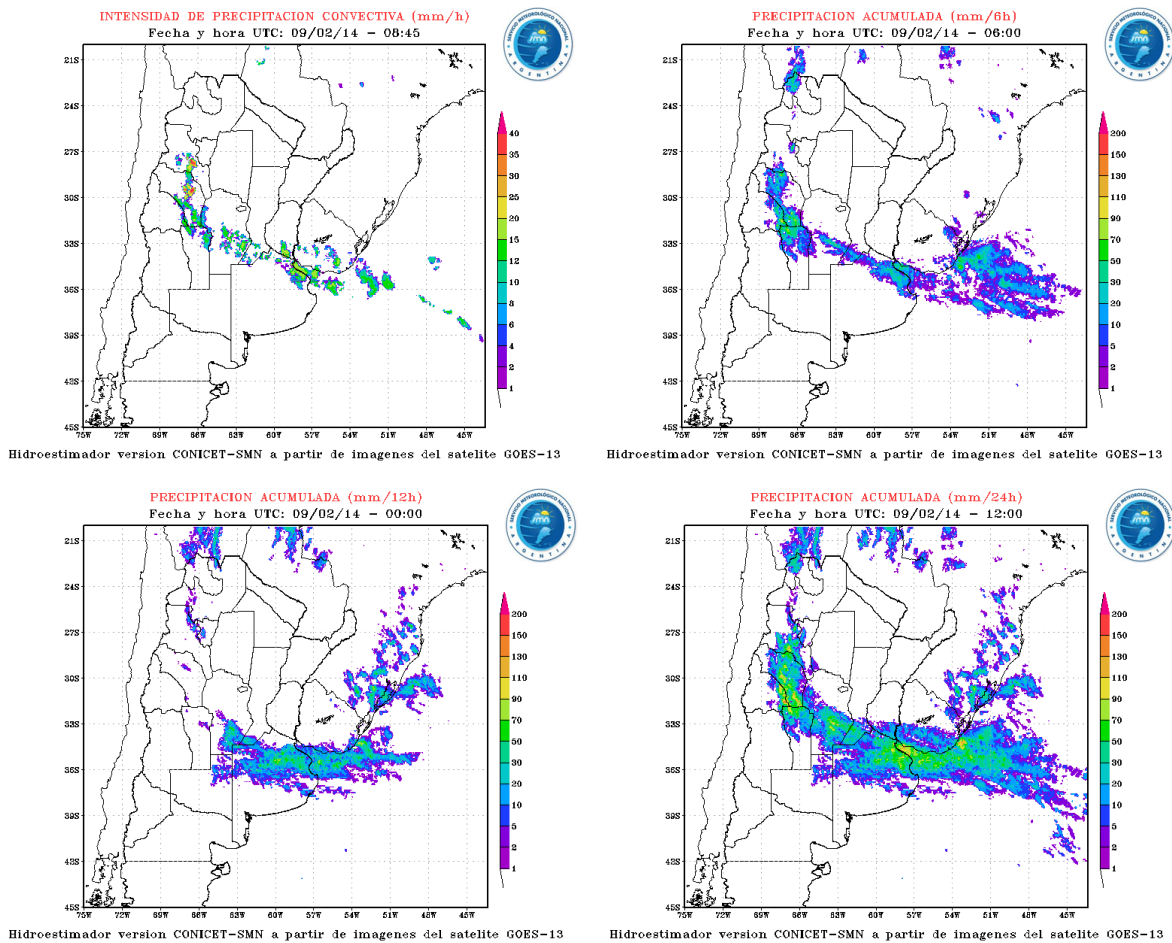


Figura 1.- Campo de precipitación instantánea de HIDRO correspondiente a las 08:45 UTC del día 9 de febrero de 2014 (panel superior izquierdo), y campos de precipitación acumulada cada 6, 12 y 24 hs correspondientes a las 06:00 UTC (panel superior derecho), 00:00 UTC (panel inferior izquierdo) y 12:00 UTC (panel inferior derecho) respectivamente del mismo día.

Datos de la red de estaciones

Este trabajo cuenta con las observaciones de precipitación acumulada en 24 horas de la red de estaciones pluviométricas disponibles en tiempo operacional. Esta red está compuesta por las observaciones del SMN y la información proveniente de los países vecinos. Actualmente, se dispone de aproximadamente 160 estaciones para realizar la validación en 24 horas sobre el sudeste de Sudamérica, que se pueden observar en la Figura 2.

Los datos observados en superficie se comparan con el punto más cercano correspondiente a la retícula de HIDRO. Por otra parte, para poder visualizar los resultados puntuales como los que se presentan en la Figura 2, los valores obtenidos para cada estación pluviométrica se representan en el punto más cercano de una retícula de 0.25 grados de resolución espacial (aproximadamente 25km).

Metodología para la validación

Para realizar la evaluación y comparación de las versiones de HIDRO, se calcularon diferentes estadísticos en forma puntual y en la red de datos completa descripta previamente.

Los estadísticos clásicos que se utilizaron son: la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), que proporciona una medida del valor medio de los errores de la estimación, el sesgo (BIAS), que representa el error sistemático de la misma y el coeficiente de correlación (CORR), que representa el grado de asociación lineal entre la estimación y las observaciones.

Por otro lado, se aplicaron estadísticos categóricos que miden la correspondencia entre la ocurrencia de eventos de precipitación estimada y observada. Se consideró el umbral de 1 mm y se clasificó cada estación dentro de una de las siguientes categorías: acierto que corresponde a la precipitación observada y estimada por encima del umbral; sorpresa que corresponde a la precipitación observada por encima del umbral y estimada por debajo; y falsa alarma que corresponde a la precipitación estimada por encima del umbral y observada por debajo.

Los índices que se incluyeron y que combinan esta información para una correcta validación son: El Bias Score (BIASS), que es la relación entre la cantidad de eventos de precipitación estimada y la cantidad de eventos de precipitación observada, con un rango de valores desde 0 a infinito y un valor óptimo igual a 1. El Equitable Threat Score (ETS) que es la fracción de precipitación correctamente estimada considerando el número de aciertos aleatorios, con un rango de valores desde -1/3 a 1 y un valor igual a 1 corresponde a una estimación perfecta. La probabilidad de detección (POD) que es la relación entre el número de aciertos y la cantidad de eventos de precipitación observada, con un rango de valores de 0 a 1 y un valor óptimo igual a 1. Las falsas alarmas (FAR) que como su nombre lo indica, es la relación entre el número de falsas alarmas y la cantidad de eventos de precipitación estimada, con un rango de valores de 0 a 1 y un valor óptimo igual a 0.

Las fórmulas de los índices utilizados en este trabajo se extrajeron de la página de Internet Forecast Verification Website (<http://www.cawcr.gov.au/projects/verification/>).

Para analizar los resultados se graficaron los campos espaciales del BIAS, los diagramas de dispersión, las distribuciones de probabilidad del volumen de precipitación, conocidas como pdfs volumétricas (Amitai et al., 2011), y se dispuso de los valores totales obtenidos para los diferentes estadísticos. Las pdfs volumétricas son distribuciones de probabilidad que subdividen la tasa de precipitación en intervalos, y consideran la contribución relativa de los mismos al volumen total de precipitación. La ventaja que tienen respecto a las pdfs de ocurrencia es que son menos sensibles a las limitaciones en la detección de precipitación débil (asociada a una pequeña fracción de la precipitación total).

RESULTADOS

En este trabajo se eligió el mes de febrero de 2014 para presentar los resultados del control, evaluación y comparación con diferentes versiones de HIDRO, debido a que es un mes caracterizado por eventos frecuentes de precipitación intensa sobre el sudeste de Sudamérica, y al mismo tiempo coincide con el mes de comienzo de las versiones de prueba.

En la Figura 2, se muestra el resultado de la validación diaria de HIDRO ACTUAL para el mes de febrero de 2014 y en los paneles superiores la precipitación acumulada mensual en las estaciones disponibles y el campo de BIAS obtenido. Asimismo, estos gráficos contienen el diagrama de dispersión y la pdf volumétrica con el objetivo de reunir la información necesaria para una correcta evaluación de esta estimación. De este modo, esta figura puede ponerse a disposición de diferentes usuarios interesados en el funcionamiento de HIDRO.

En este caso, el campo de BIAS presenta una mayor cantidad de puntos en los que HIDRO subestima la precipitación diaria, pero en las áreas del noroeste y centro este de Argentina y Uruguay asociadas a un desarrollo más intenso de la precipitación, los valores altos positivos de BIAS remarcan una sobrestimación de este producto. En el caso de la relación lineal, también queda en evidencia este comportamiento con una mayoría de puntos en los cuales la observación diaria es subestimada y la presencia de algunos valores extremos de HIDRO que sobrestiman las observaciones en superficie. Este análisis concuerda con la gran dispersión de puntos a lo largo del mes y un valor del coeficiente de correlación lineal igual a 0.48.

Los resultados de los estadísticos para todo el mes, cuantifican los errores diarios de esta herramienta de trabajo y se analizan en más detalle en la Tabla 1 junto con las otras versiones de HIDRO. Un valor agregado que se observa en la Figura 2 y no se incluye en la Tabla 1, es el valor promedio total de precipitación y los valores máximos de precipitación para las observaciones y la estimación, junto con el total de puntos disponibles en el área durante el mes de febrero. Los resultados de estos valores son más bajos en el caso de HIDRO, con una diferencia muy marcada en el máximo de precipitación obtenido.

En la pdf de la Figura 2, se incluye en la leyenda la relación entre la precipitación total estimada y observada sobre la región, que al ser menor a uno nuevamente ratifica la tendencia a subestimar la precipitación en la mayoría de los días. Por otro lado, la curva de HIDRO indica el porcentaje de la precipitación estimada total que es explicado por cada intervalo de lluvia (volumen de precipitación relativa), y del mismo modo en forma de barras en el caso de la precipitación observada. El resultado indica una mayor contribución por parte de umbrales en torno a los 40 mm de precipitación diaria como se observa en el máximo de ambas distribuciones. A su vez, el porcentaje obtenido es menor al observado en el caso de umbrales por debajo de los 40 mm y mayor al observado en umbrales más altos. Es decir que la distribución de HIDRO tiende a subestimar la precipitación en umbrales medios a bajos y sobrestimarla en umbrales más altos.

Salio et al. (2014), realizaron una validación diaria de estimaciones de precipitación por satélite disponibles sobre el sudeste de Sudamérica, utilizando una red de observaciones de alta resolución espacial y un periodo de 2 años de datos. En dicho trabajo, se incluyó la evaluación de una versión similar del Hidroestimador proveniente del Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Si bien los resultados coinciden en cuanto a una subestimación de la precipitación por parte de este producto al sur de 20° S, la pdf volumétrica no muestra una marcada sobrestimación en umbrales más altos como en el presente trabajo.

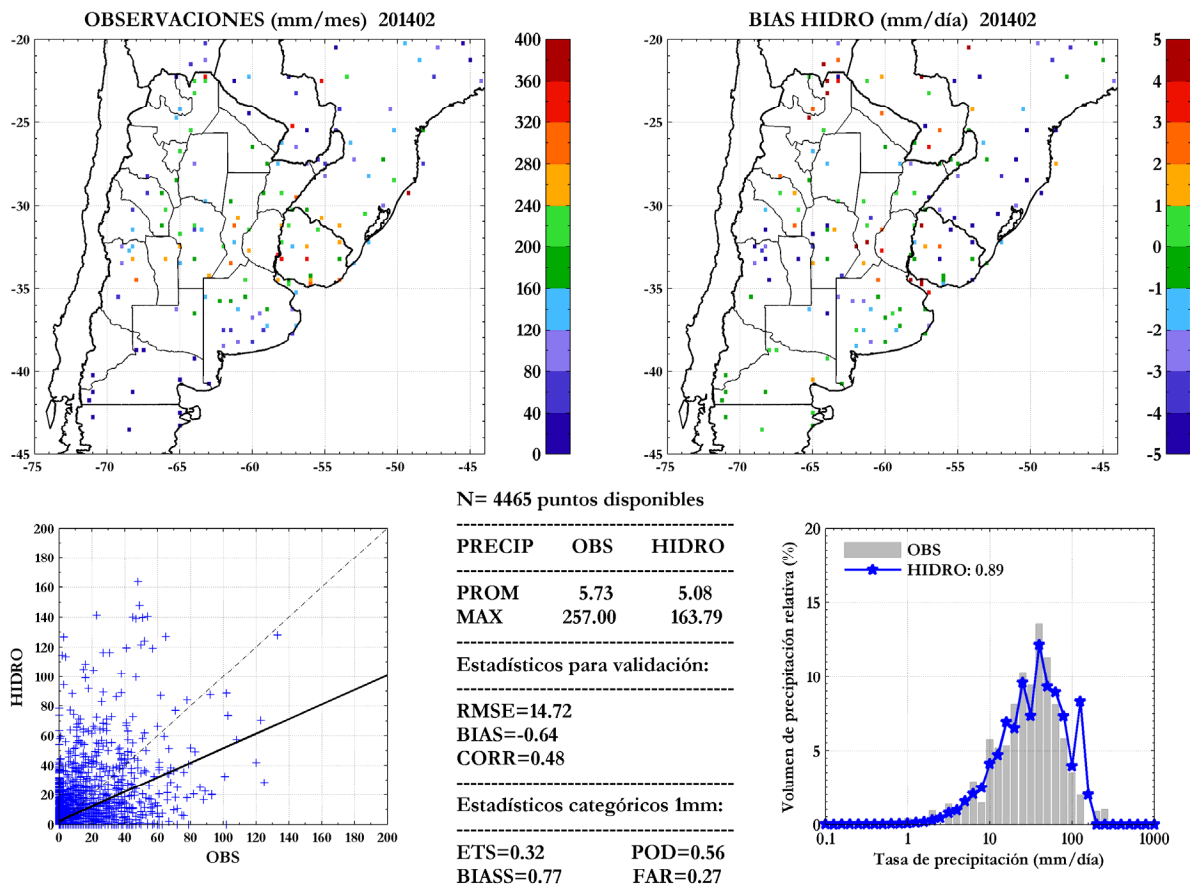


Figura 2.- Validación diaria de HIDRO ACTUAL para el mes de febrero de 2014: Campo de precipitación acumulada mensual (panel superior izquierdo), campo de BIAS (panel superior derecho), diagrama de dispersión (panel inferior izquierdo), pdf volumétrica (panel inferior derecho) y estadísticos totales (panel inferior central).

La Figura 3 presenta las series diarias de precipitación, BIAS, RMSE y CORR para comparar las distintas versiones de HIDRO sobre la región durante el mes de febrero. En el caso de la serie de precipitación, se calculó la suma total de precipitación acumulada diaria en los puntos disponibles del sudeste de Sudamérica, para los datos observados y las distintas versiones de HIDRO.

La idea es poder seguir el desempeño de cada versión de HIDRO, y observar si algún producto se aparta favorablemente del funcionamiento de la versión actual. Además, se podría estudiar a partir de estas series los casos diarios que conducen a valores más altos de error en las estimaciones de precipitación, como por ejemplo los días 6 y 14 de febrero de 2014 con valores máximos de RMSE para HIDRO ACTUAL en la Figura 3. Si bien, son los resultados de un único mes, el BIAS resulta negativo en la mayoría de los días y no se evidencia una mejora sustancial por parte de las versiones de prueba.

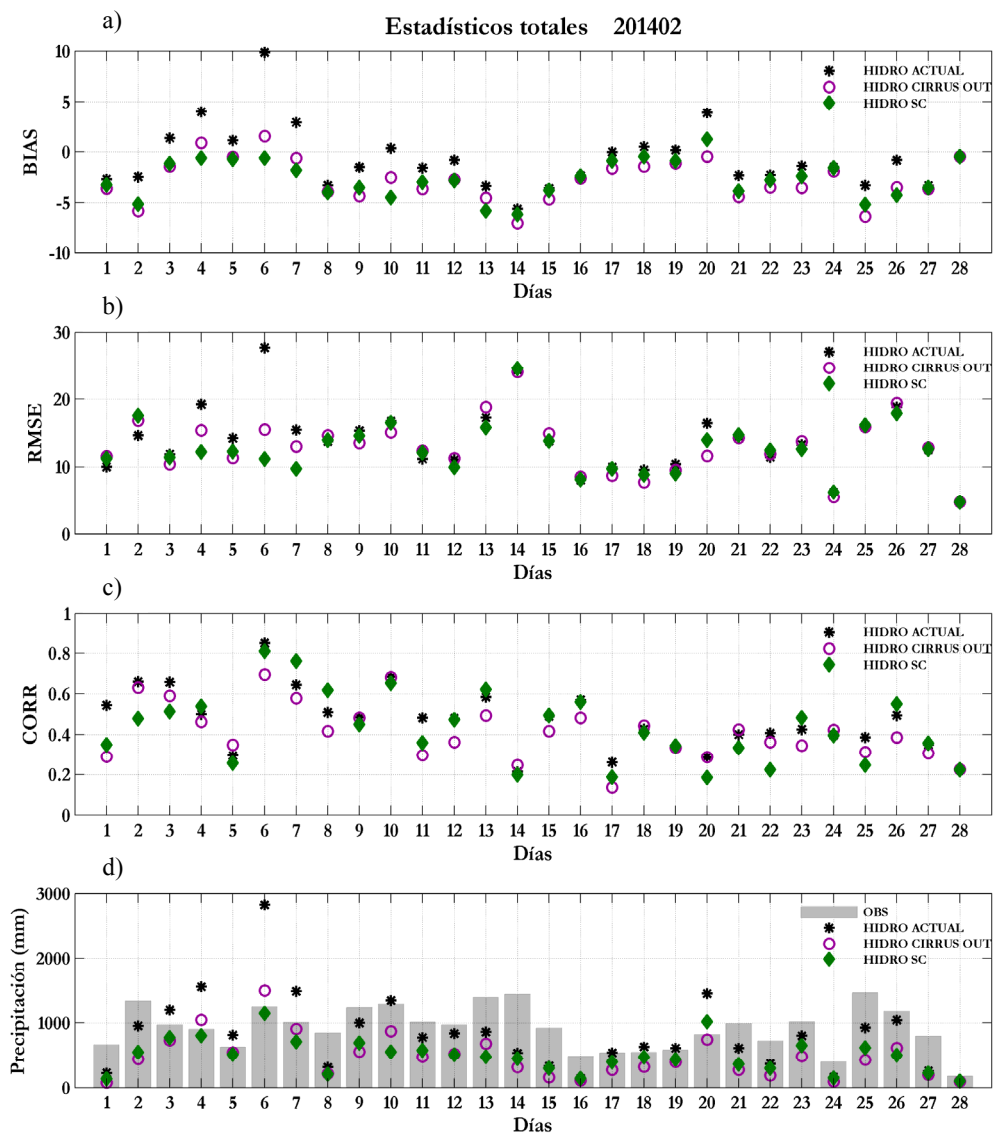


Figura 3.- Series diarias de BIAS (a), RMSE (b), CORR (c) y Precipitación (d) para las distintas versiones de HIDRO sobre el sudeste de Sudamérica correspondientes al mes de febrero de 2014.

En cuanto a los resultados totales para todo el mes y la comparación entre las tres versiones de HIDRO, la Figura 4 muestra los respectivos diagramas de dispersión. Estos gráficos no indican una mejora en la relación lineal con respecto a la versión actual, pero sí una disminución de casos en los que HIDRO sobrestima considerablemente la precipitación observada.

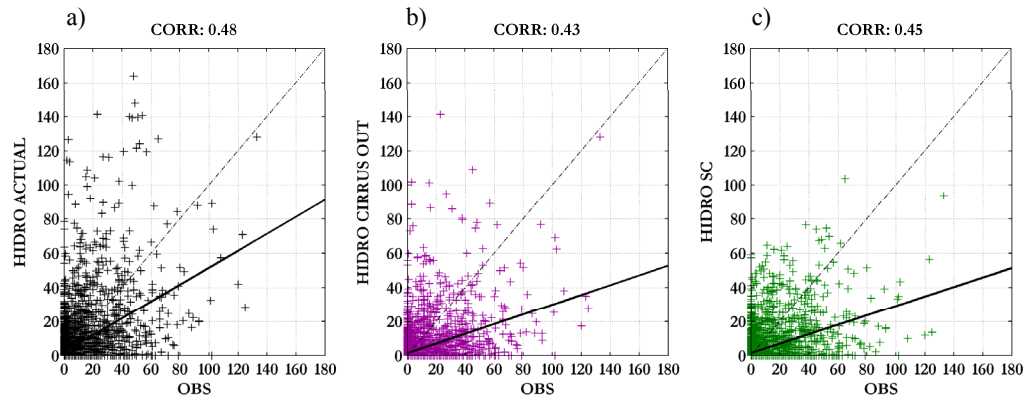


Figura 4.- Diagramas de dispersión para las versiones HIDRO ACTUAL (a), HIDRO CIRRUS OUT (b), e HIDRO SC (c) sobre el sudeste de Sudamérica correspondientes al mes de febrero de 2014.

La Figura 5 muestra la comparación de las pdfs volumétricas. En este caso, sumado al análisis de la Figura 2, se observa una mayor subestimación por parte de las versiones de prueba. Este resultado se obtiene no solo de la relación de precipitación total en el área entre las estimaciones y las observaciones que se incluye en la leyenda de la Figura 5, sino a partir del corrimiento de las distribuciones de prueba hacia los umbrales más bajos. De esta manera, y con mayor claridad en el caso de HIDRO SC, se observa que los umbrales medios y bajos de precipitación contribuyen en mayor medida al volumen total de precipitación comparado con la distribución de la precipitación observada.

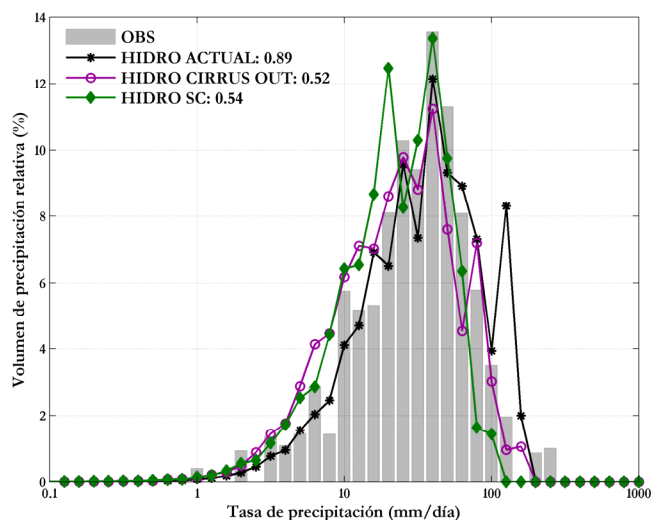


Figura 5.- Pdfs volumétricas para las distintas versiones de HIDRO y las observaciones sobre el sudeste de Sudamérica correspondientes al mes de febrero de 2014.

Finalmente, la Tabla 1 resume los estadísticos totales del mes de febrero de 2014 para cada versión de HIDRO. En concordancia con lo analizado previamente, las versiones de prueba tienen un mayor grado de subestimación de la precipitación observada, que se obtiene tanto del BIAS como del BIAS y es más importante en el caso de CIRRUS OUT con valores de -2.73 y 0.64 respectivamente. Sin embargo, se obtienen mejores resultados en cuanto al RMSE que tiene un valor de 13.22 en el caso de SC y también se reducen las falsas alarmas. El resto de los estadísticos no presenta una mejora respecto de la versión actual para este mes en particular y teniendo en cuenta la red completa de datos observados.

Tabla 1.- Estadísticos totales para las distintas versiones de HIDRO sobre el sudeste de Sudamérica correspondientes al mes de febrero de 2014, para precipitaciones diarias mayores a 1mm.

N=4465	RMSE	BIAS	CORR	ETS	BIASS	POD	FAR	EST/OBS
HIDROACTUAL	14.72	-0.64	0.48	0.32	0.77	0.56	0.27	0.89
HIDRO CIRRUS OUT	13.59	-2.73	0.43	0.28	0.64	0.48	0.26	0.52
HIDRO SC	13.22	-2.64	0.45	0.29	0.65	0.49	0.25	0.54

CONCLUSIONES

En este trabajo se expone la técnica Hidroestimador para estimar la precipitación por satélite, sus ventajas y limitaciones. A su vez, se describe el estado actual de este producto en el SMN, y las actividades en torno a la evaluación y a obtener mejoras en su desempeño.

En resumen, si bien la región del sudeste de Sudamérica presenta diferentes regímenes de precipitación, se pudo observar con los resultados de una validación diaria para el mes de febrero de 2014, que el Hidroestimador tiende a subestimar la precipitación en la mayoría de los casos, como mostraron Salio et al. (2014). La versión actual además sobreestima la precipitación principalmente en áreas asociadas a un desarrollo de la precipitación más intensa. Por otro lado, las versiones de prueba no muestran una mejora considerable, dado que a pesar de disminuir algunos casos extremos de estimación de precipitación por parte de HIDRO ACTUAL, en general se observa un mayor grado de subestimación en los resultados obtenidos.

De este modo, este trabajo expone las limitaciones de este método en cuanto a estimar la precipitación en presencia de nubes cirrus y nimbostratus como se explicó anteriormente. Las nubes cirrus pueden ser detectadas y filtradas con una metodología más o menos efectiva, pero no se tiene en cuenta si se está desarrollando precipitación por debajo de las mismas. A su vez, la precipitación asociada a nubes cálidas es un desafío vigente aún para las estimaciones de precipitación de múltiples sensores.

Para obtener resultados más robustos en cuanto al funcionamiento de esta herramienta de trabajo, se realizará nuevamente una validación al completar un año de HIDRO ACTUAL y las versiones de prueba. Además, es importante destacar la necesidad de realizar una evaluación regional, dado que existen diferencias en el desempeño de la estimación según la región, pero no se cuenta con redes de observación de mayor densidad en superficie que permitan llevar a cabo esta tarea.

A futuro y con la finalidad de mejorar esta estimación de precipitación, se pretende generar diferentes versiones de prueba enmarcadas en los siguientes temas:

- Aplicación de una técnica multiespectral de aprovechamiento óptimo de la información del resto de los canales del satélite.
- Estudiar la sensibilidad del Hidroestimador a la incorporación de los datos del modelo WRF en alta resolución.
- Probar un ajuste en el valor de la precipitación estimada a partir de curvas de calibración obtenidas luego de un tiempo razonable de evaluación de HIDRO.

Agradecimientos. La realización del presente trabajo fue parcialmente financiada por los proyectos PIDDEF47/201 y PICT 2008-215.

REFERENCIAS

- Amitai, E., Petersen, W., Lloret, X., and Vasiloff, S., 2011. Multi-Platform Comparisons of Rain Intensity for Extreme Precipitation Events. *IEEE Trans. Geosciences and Remote Sensing*, 50, pp. 675 – 686.
- Barrera, D.F., Marcuzzi, E., y Naumann, G., 2001. Desarrollo del software de un Sistema Operativo de estimación de precipitación a partir de imágenes GOES. IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Buenos Aires, Argentina.
- Barrera, D.F., Zucarelli, G., y Ceirano, E., 2003. Una técnica satelital de estimación de lluvia como herramienta de pronóstico hidrológico. Aplicación a la tormenta del 22 al 25 de abril de 2003 sobre Santa Fe y Entre Ríos. Preprints, XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, Brasil.
- Barrera, D.F., 2005a. Precipitation estimation with the hydro-estimator technique: its validation against rain gauge observations. VII Scientific Assembly of the International Association of Hydrological Sciences. Foz do Iguazú, Brasil.
- Barrera, D.F., 2005b. Análisis comparativo de los mapas de precipitación obtenidos a partir de datos pluviométricos y de estimaciones satelitales. IX Congreso Argentino de Meteorología. Buenos Aires, Argentina.
- Barrera, D.F., 2007. The generation of synthetic brightness temperature images to improve rainfall estimation from GOES satellite. Predictions in Ungauged Basins: PUB Kick-off. IAHS Publication 309, No 13, 113-120. Daniel Schertzer, Pierre Hubert, Sergio Koide & Kuni Takeuchi Editores.
- Saldanha, C.B., Rolim da Paz, A., Allasia, D., Collischonn, W., y Barrera, D.F., 2007. Avaliação da chuva do Hidroestimador para modelagem hidrológica na região da bacia do Rio Grande. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. San Pablo, Brasil.
- Salio P., Hobouchian, M.P., García Skabar, Y., y Vila, D., 2014. Evaluation of High-Resolution Satellite Precipitation Estimates over Southern South America using a Dense Rain Gauge Network. Submitted to Atmospheric Research (en prensa).
- Scofield, R.A., and Kuligowski, R.J., 2003. Status and outlook of operational satellite precipitation algorithms for extreme-precipitation events. *Mon. Wea. Rev.*, 18, pp. 1037-1051.
- Suaya, M., 2004. Primera evaluación objetiva de los pronósticos operativos de los modelos ETA-SMN y GFS-NCEP durante el año 2003. Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.
- Vicente, G., Scofield, R., and Menzel, P., 1998. The operational GOES infrared rainfall estimation technique. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79, pp. 1883–1898.
- Vila, D.A., Scofield, R.A., and Davenport, J., 2001. Satellite rainfall estimation over South America: Evaluation of two major events. AMS 16th Conference on Hydrology, pp. 33-36.