

**TALLER DE TÉCNICAS DE MEDICIÓN EN HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA
“MÓDULO AGUA EN LA ATMÓSFERA Y EN EL SUELO”**

A satellite with large solar panels is shown in space, orbiting the Earth. The Earth's blue oceans and brown landmasses are visible on the left side of the frame. The satellite is positioned in the center-right, with its solar panels extending outwards. The background is a dark, starry space.

**SENSORAMIENTO REMOTO
DE PRECIPITACIÓN**

**ALEJANDRA DE VERA
2023**

SENSORAMIENTO REMOTO

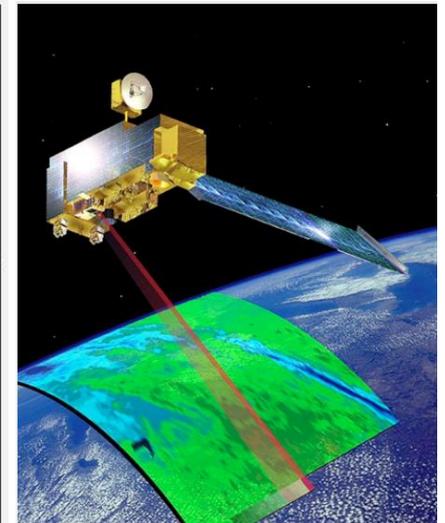
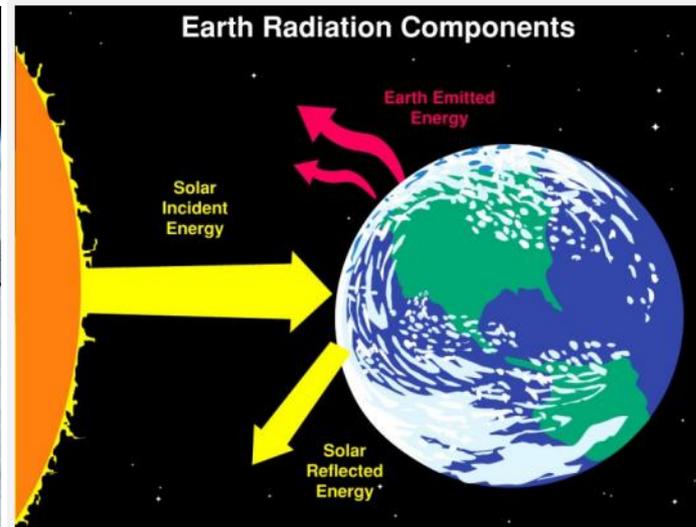
Contenido

- ❖ Concepto
- ❖ Clasificación de sensores
- ❖ Datos disponibles
- ❖ Estimación de precipitación
 - ✓ Metodología
 - ✓ Productos disponibles
 - ✓ Experiencia en Uruguay

SENSORAMIENTO REMOTO (TELEDETECCIÓN)

Concepto

- ❖ **Captación de las propiedades físicas** de un objeto o evento **obtenidas a distancia** (sin tomar contacto directo con el mismo), mediante el uso de un sensor remoto.
- ❖ Se basa en la **medición de la Radiación Electromagnética (REM)** emitida, reflejada o dispersada por la atmósfera o la superficie terrestre.



SENSORAMIENTO REMOTO (TELEDETECCIÓN)

Concepto

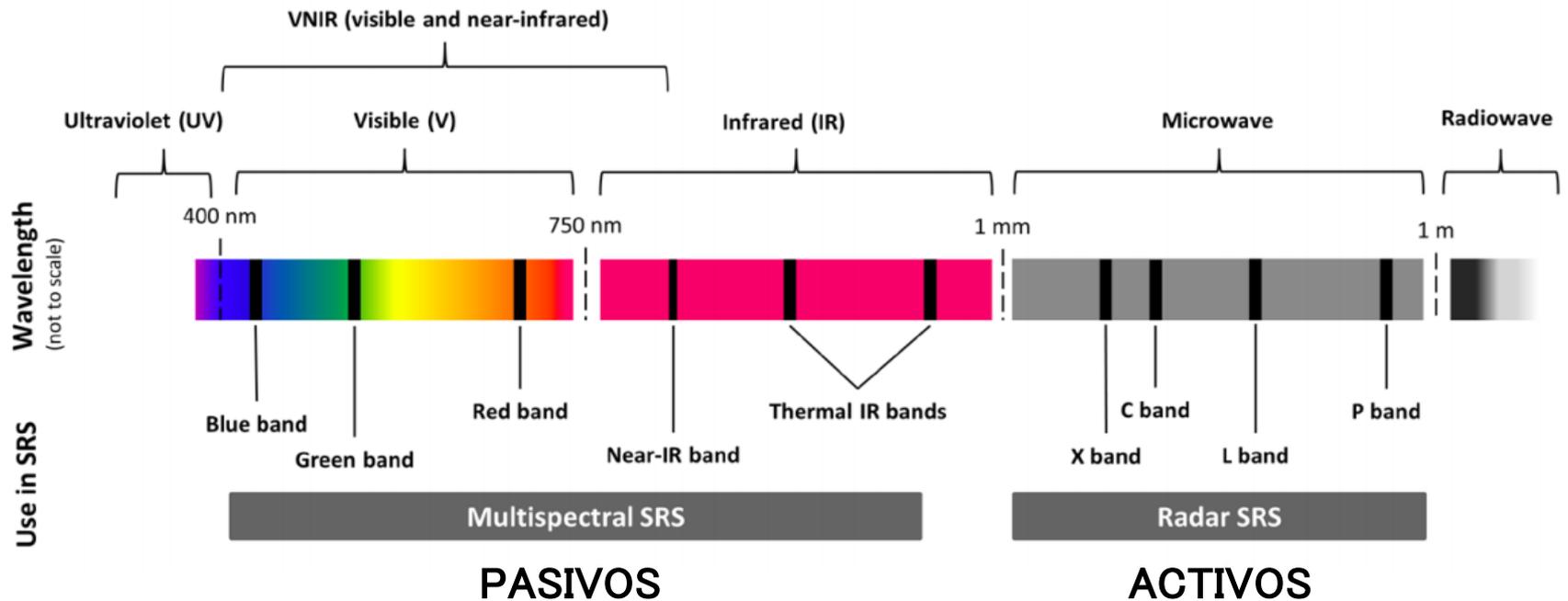
- ❖ La **interacción de la radiación con la materia** depende del estado de la materia (sólido, líquido o gaseoso) y de la longitud de onda.
- ❖ Los blancos tales como tierra y agua en la superficie y las gotas de agua y los cristales de hielo en la atmósfera (hidrometeoros), reflejan, absorben, emiten y transmiten la energía radiante sobre un amplio rango de longitudes de onda.
- ❖ Los sistemas de sensoramiento remoto operan en diferentes partes del **espectro electromagnético**, principalmente: **visible (VIS)**, **infrarrojo (IR)** y **microonda (MW)**.

Las mediciones de la REM permiten la determinación de los valores de algunas variables físicas instantáneas de la atmósfera y la superficie.

SENSORAMIENTO REMOTO (TELEDETECCIÓN)

Concepto

- ❖ Los sensores y el espectro electromagnético



SRS: Satellite Remote Sensing

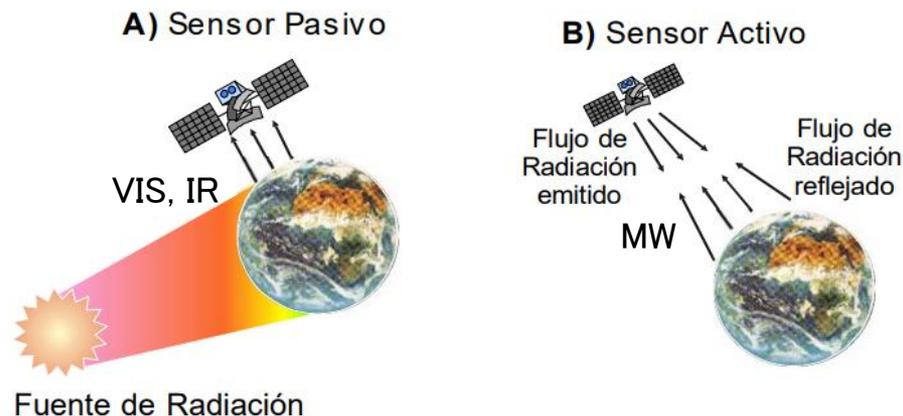
Fuente: Pettorelli et al. (2018). Satellite Remote Sensing for Conservation. WWF Conservation Technology Series 1(4).

SENSORAMIENTO REMOTO (TELEDETECCIÓN)

Clasificación de sensores

Según el origen/fuente de energía:

- ❖ **PASIVOS**: Detectan y miden la radiación solar reflejada o emitida por los objetos presentes en la atmósfera o la superficie terrestre (requieren de una fuente de radiación externa: Sol).
- ❖ **ACTIVOS**: Emiten su propia radiación que interactúa con los objetos y capturan (miden) la radiación reflejada. Ejemplo: Radares meteorológicos.



SENSORAMIENTO REMOTO (TELEDETECCIÓN)

Clasificación de satélites

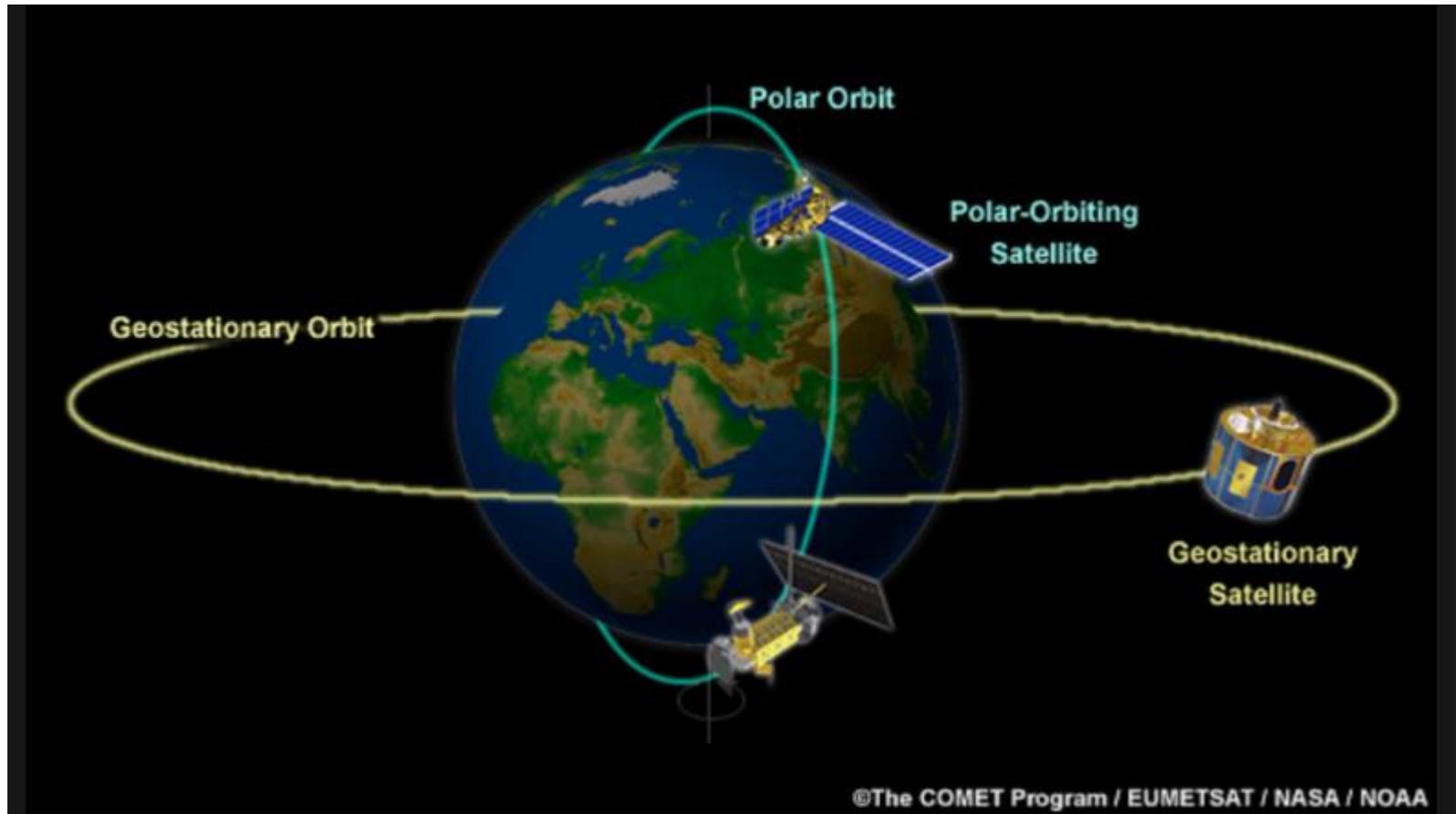
Según el tipo de órbita:

- ❖ **DE ÓRBITA POLAR**: La inclinación de la órbita (ángulo con el plano ecuatorial) es cercana a la polar ($\approx 90^\circ$) y se ubica a una altura de 700–800 km aprox (órbita terrestre baja: LEO). El satélite opera en una órbita sincronizada con el sol (pasa cada día por cada latitud a la misma hora solar local).
- ❖ **GEOESTACIONARIOS (GEO)**: El satélite se ubica sobre el plano ecuatorial y orbita a una altura de 36000 km aprox (la duración de una órbita es igual al periodo de rotación de la Tierra). Al orbitar a la misma velocidad y dirección que la Tierra, el satélite está estacionario, es decir siempre está en la misma posición respecto a la Tierra.
- ❖ **ÓRBITA INCLINADA**: Las órbitas inclinadas están entre las dos anteriores (según la región de interés).

SENSORAMIENTO REMOTO (TELEDETECCIÓN)

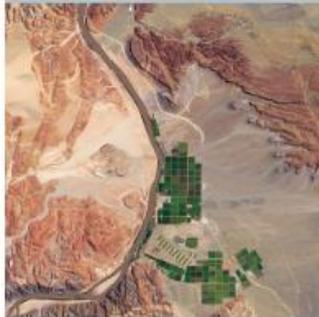
Clasificación de satélites

Según el tipo de órbita:



SENSORAMIENTO REMOTO (TELEDETECCIÓN)

Datos disponibles



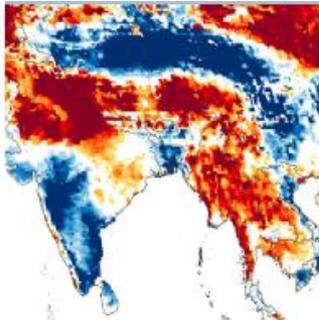
Land Surface Data

- Surface reflectance
- Surface temperature
- Topography



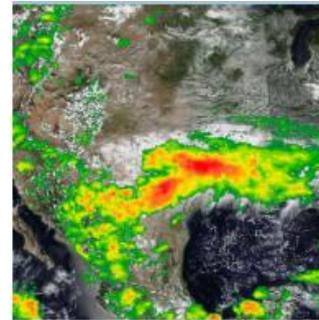
Vegetation Data

- Vegetation Indices
- Evapotranspiration
- Land surface reflectance
- Land cover/crop extent
- Leaf Area Index



Water Data

- Soil moisture
- Snow cover
- Ground water
- Runoff
- Water reservoirs



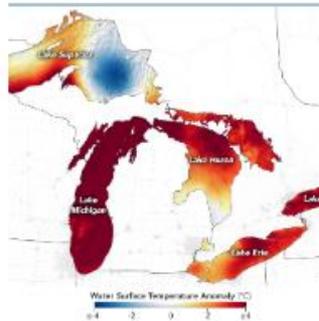
Weather Data

- Surface Air Temperature
- Precipitation
- Humidity
- Weather Maps



Ocean Color

Ocean color assessments are used for answering fundamental questions about phytoplankton blooms, the aquatic food web, fisheries, and the storage of carbon in the ocean.



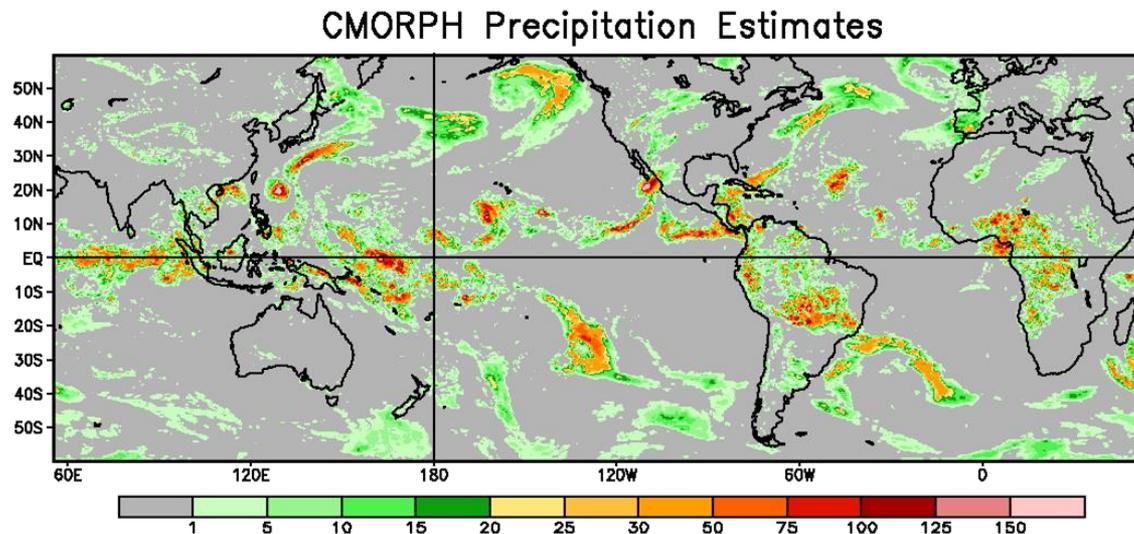
Water Surface Temperature

Water surface temperature is important for the health of microscopic organisms and controls algal blooms.

Entre otros...

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Buscan lograr una **descripción detallada de la variabilidad temporal y espacial de la precipitación** aún en aquellas regiones donde la densidad de estaciones en superficie es escasa.



Daily Precipitation for: 20 Oct 2009 (00Z-00Z)
Data on .25 x .25 deg grid; UNITS are mm/day

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Metodologías de estimación

- ❖ La llegada de los satélites meteorológicos en los años 1970, permitió la observación de las nubes en un “contexto hemisférico” (global).
- ❖ Se basa en el uso de **sensores infrarrojos (IR) a bordo de satélites geoestacionarios**, así como de **sensores de microondas pasivas (PMW) de satélites de órbita polar**, para inferir la precipitación a partir de la temperatura del tope de nube y la radiación reflejada y emitida a través de los sistemas nubosos, y en algunos casos ajustando los resultados mediante la asimilación de registros pluviométricos en superficie.

Los productos que derivan de una **combinación de observaciones IR** (mayor resolución espacial y temporal) y **observaciones de PMW** (alta calidad) resultan tener un **mejor rendimiento**.

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Metodologías de estimación

- ❖ En 1997, el lanzamiento del satélite de la misión TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) introduce el **primer radar o sensor de microondas activas** capaz de inferir precipitación **con base en el espacio**.
- ❖ En 2014, el lanzamiento de la misión GPM (Global Precipitation Measurement) entre la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y la Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), integra una amplia **red de satélites internacionales** (IMERG, GSMaP).



Nueva generación de productos satelitales de precipitación global, que **integran múltiples plataformas y algoritmos previamente existentes**, con alta resolución espacial y temporal y **mejor performance** que los productos predecesores en diversas regiones y condiciones climáticas.

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Productos disponibles

Dataset	Full name	Reference	Spatial resolution	Time-scale (highest resolution)	Period of availability (in brackets, period used)
CHIRP	Climate Hazards group InfraRed Precipitation	Funk <i>et al.</i> (2015)	0.05°	Daily	1981–Present
CHIRPS v2 (*)	CHIRP with station data	Funk <i>et al.</i> (2015)	0.05°	Daily	1981–Present (1983–2017)
CMORPH	Climate Prediction Center morphing technique	Joyce <i>et al.</i> (2004)	0.07°	Half-hourly	12/2002–Present (2003–2017)
PERSIANN (*)	Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks	Ashouri <i>et al.</i> (2015)	0.25°	Daily (PERSIANN-CDR)	1983–Present (1983–2017)
TMPA 3B42 v7 (*)	Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multi-satellite Precipitation Analysis	Huffman <i>et al.</i> (2007)	0.25°	3-hourly	1998–Present (1998–2014)
GSMaP	Global Satellite Mapping of Precipitation	Kubota <i>et al.</i> (2007)	0.10°	Hourly	2002–2010
IMERG	Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global precipitation measurement	Huffman <i>et al.</i> (2015)	0.10°	Half-hourly	03/2014–Present

(stars denote products which are adjusted with observed rainfall data)

Fuente: Adaptado de Camberlin et al. (2019).

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Productos disponibles

Productos disponibles en tiempo casi real (latencia de horas):

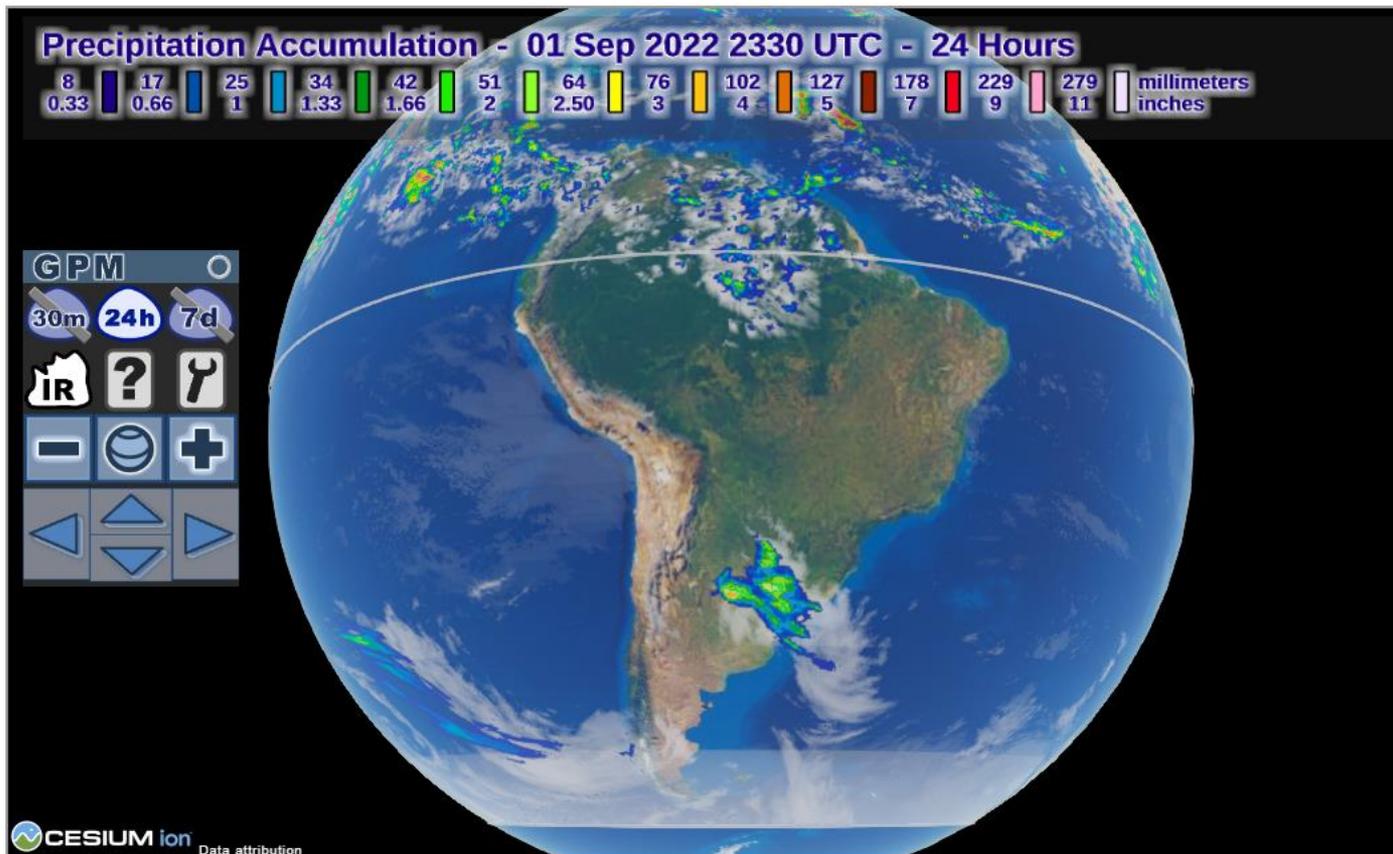
Útiles para
modelos operativos

Producto	Latencia	Resolución espacial	Resolución temporal	Enlace
CMORPH	18 hrs	8km x 8km	30 min	ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CMORPH_V1.0/CRT/8km-30min/
QMORPH	3 hrs	8km x 8km	30 min	ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CMORPH_V0.x/RAW/8km-30min/
TRMM 3B42 RT	8 hrs	0.25° x 0.25°	Trihoraria	https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm
PERSIANN-CCS	1 hr	0.04° x 0.04°	Horaria	https://chrdata.eng.uci.edu/
GSMaP	4 hrs	0.1° x 0.1°	Horaria	ftp://hokusai.eorc.jaxa.jp/realtime_ver/v7/hourly_G
IMERG	14 hrs	0.1° x 0.1°	30 min	ftp://jsimpson.pps.eosdis.nasa.gov/data/imerg/late

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

IMERG: Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM, NASA (Huffman et al., 2015)

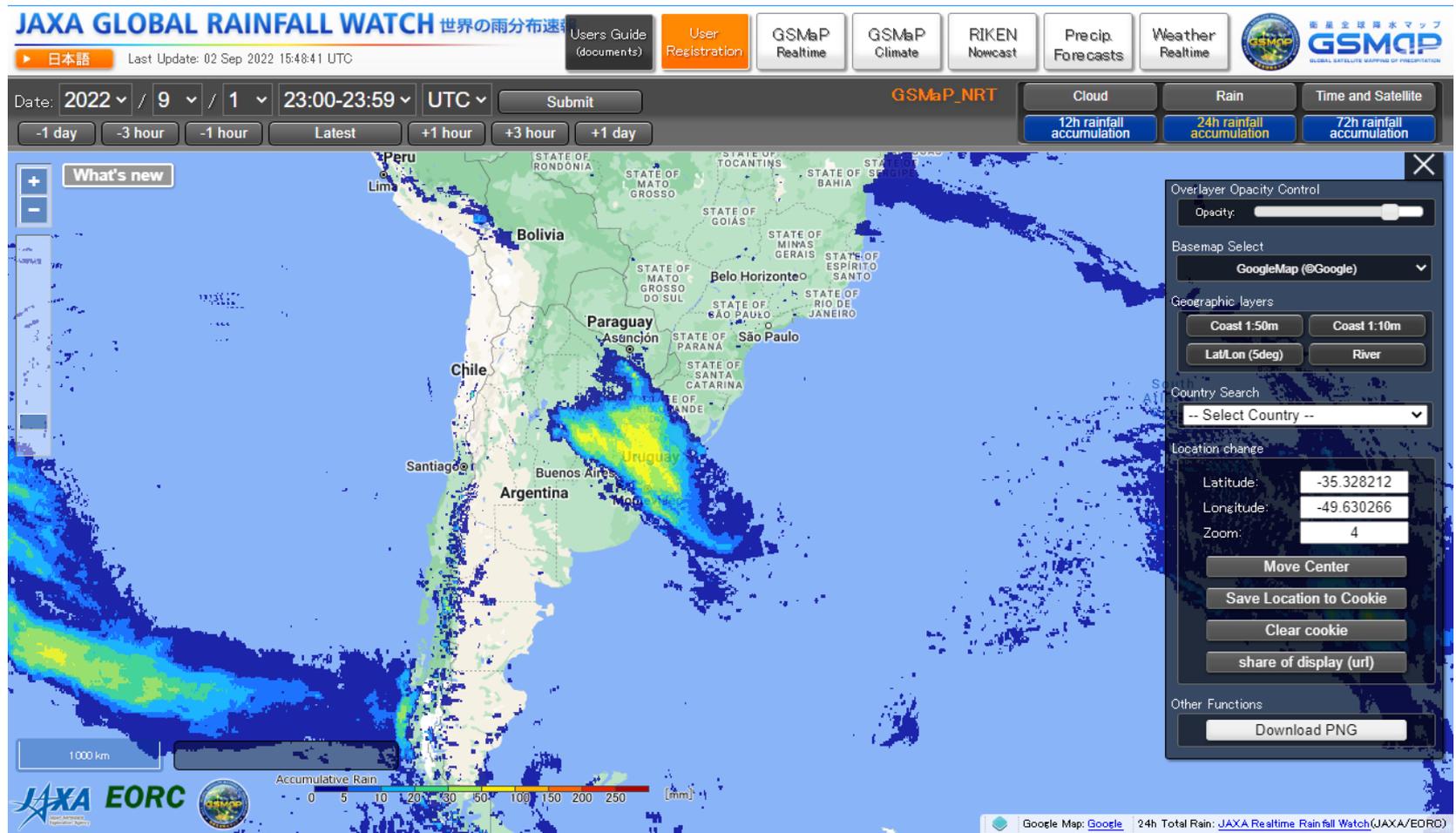
GPM IMERG Global Viewer



<https://gpm.nasa.gov/data/visualization/global-viewer>

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

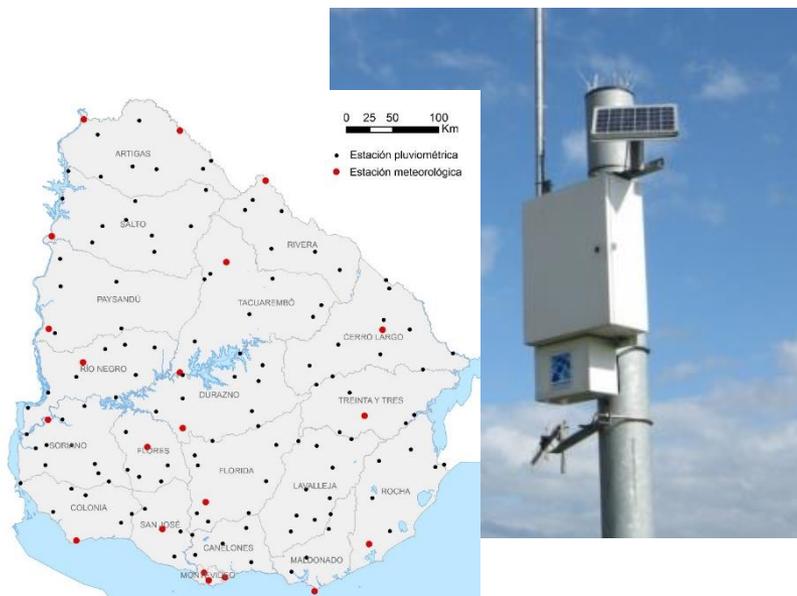
GSMaP: Global Satellite Mapping of Precipitation, JAXA (Okamoto et al., 2005)



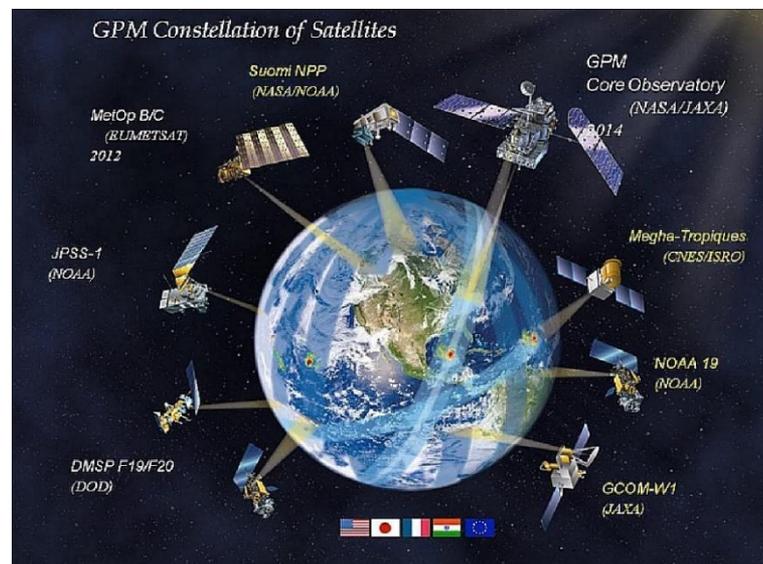
<https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/>

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Red de estaciones pluviométricas en superficie



Estimaciones satelitales de precipitación



CMORPH, TRMM, GSMaP, GPM-IMERG, ...

✓ Registros directos (medidas)

✗ Registros puntuales (¿Interpolación espacial?)

✗ Requiere operación y mantenimiento

✗ Estimaciones indirectas

✓ Gran resolución espacial y temporal

✓ Disponibles gratis

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Red de estaciones pluviométricas en superficie



Producto combinado:
Estimaciones satelitales de precipitación (mayor resolución) corregidas en base a los registros de las estaciones en superficie (mayor precisión).

Estimaciones satelitales de precipitación



CMORPH, TRMM, GSMaP, GPM-IMERG, ...



Registros directos (medidas)



Estimaciones indirectas



Registros puntuales
(¿Interpolación espacial?)



Gran resolución espacial y temporal



Requiere operación y mantenimiento



Disponibles gratis

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Experiencia en Uruguay

OBJETIVOS:

- ❖ Identificar los sesgos del estimador CMORPH en la región.
- ❖ Elaborar algoritmos de corrección del estimador satelital de precipitación CMORPH imponiendo la remoción de sesgos punto a punto.
- ❖ Determinar los niveles de habilidad que el uso del estimador agrega en la interpolación entre registros pluviométricos dependiendo de la escala espacial (densidad de la red pluviométrica) y la intensidad de precipitación diaria

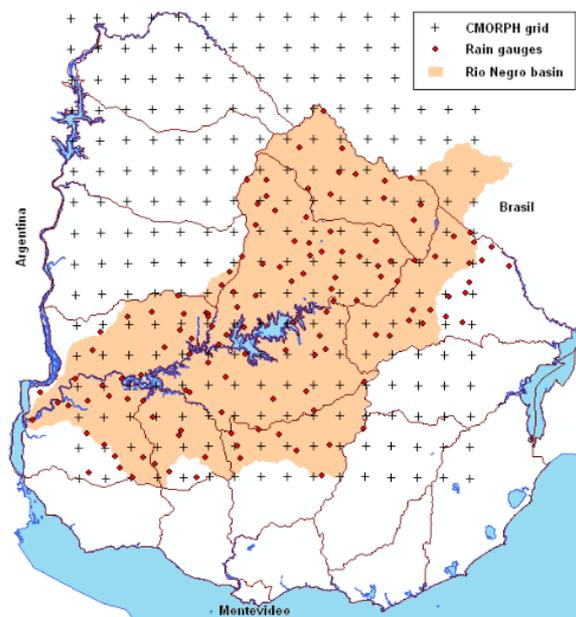
SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Experiencia en Uruguay

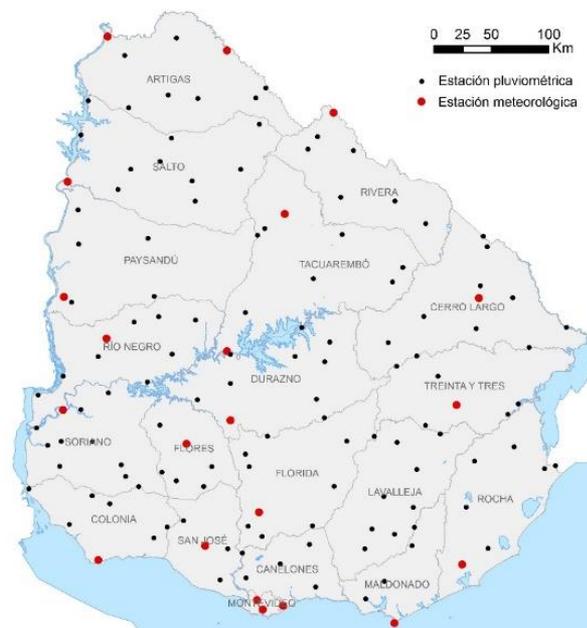
Productos evaluados para acumulados diarios:

- ❖ **CMORPH** (NOAA Climate Prediction Center MORPHing technique), con una frecuencia trihoraria y una resolución espacial de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$

Dos periodos y áreas de estudio:



2003 a 2009
(144 estaciones)



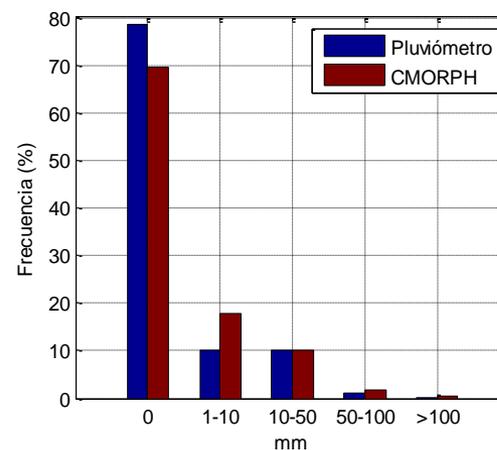
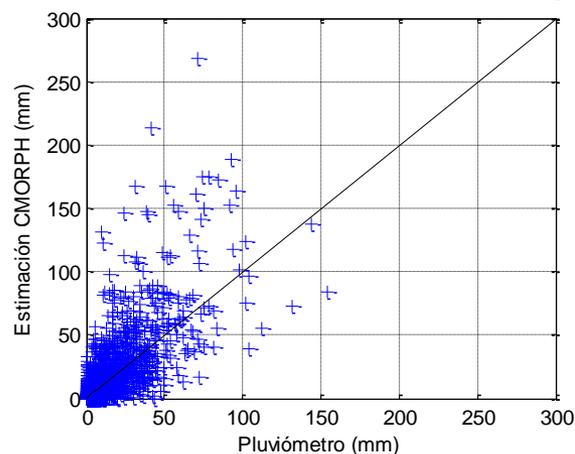
1998 a 2012
(133 estaciones)

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

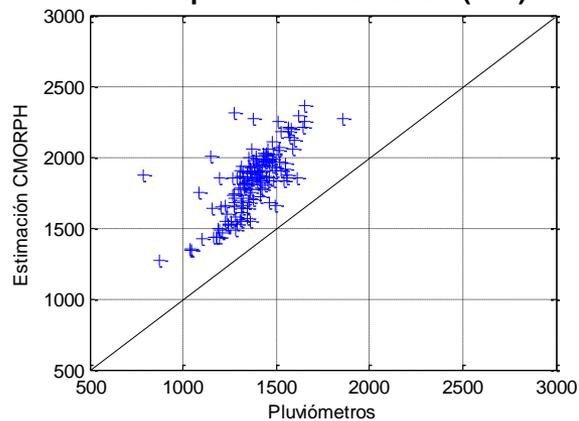
Experiencia en Uruguay

Análisis exploratorio:

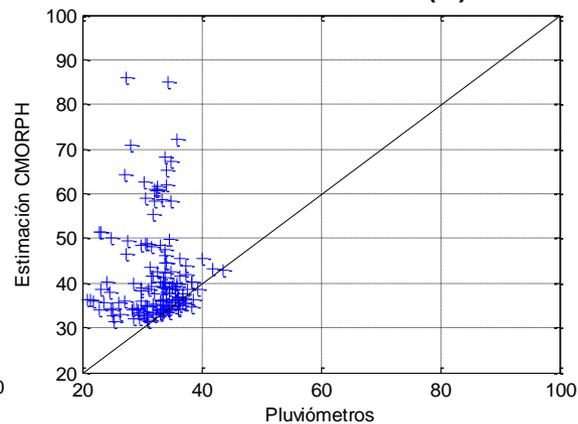
Precipitación diaria



Precipitación media anual (mm)



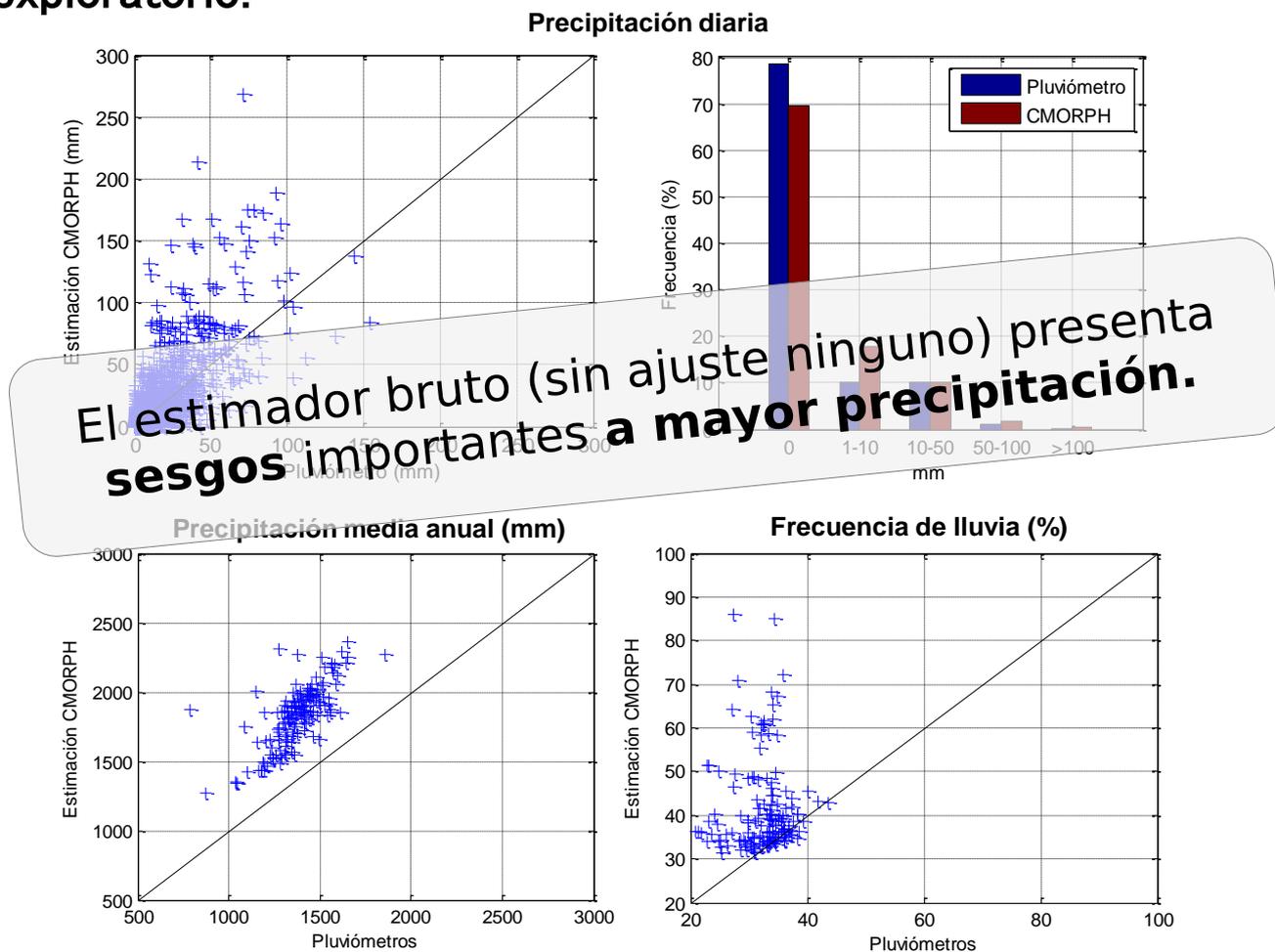
Frecuencia de lluvia (%)



SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Experiencia en Uruguay

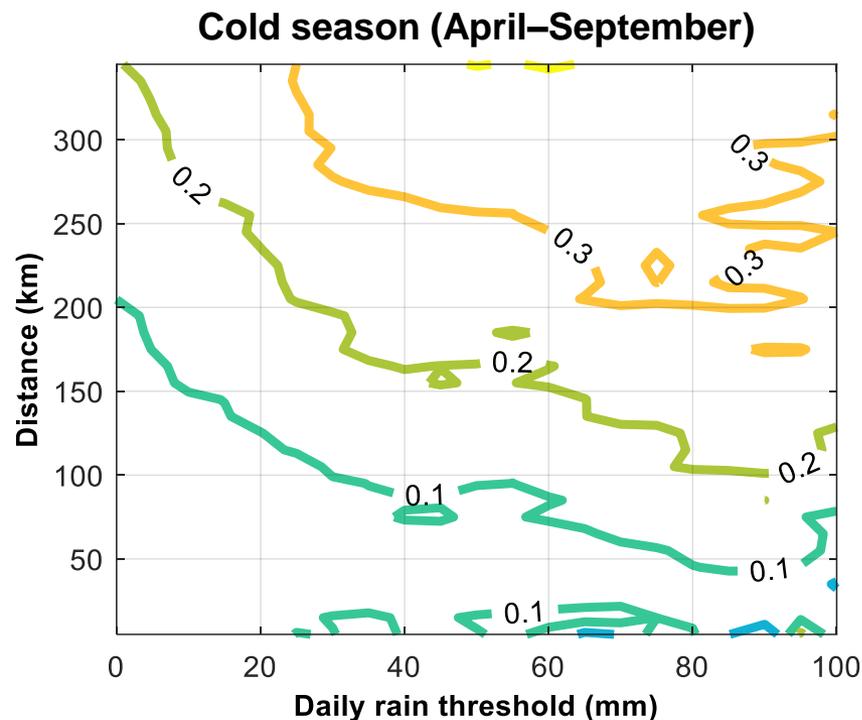
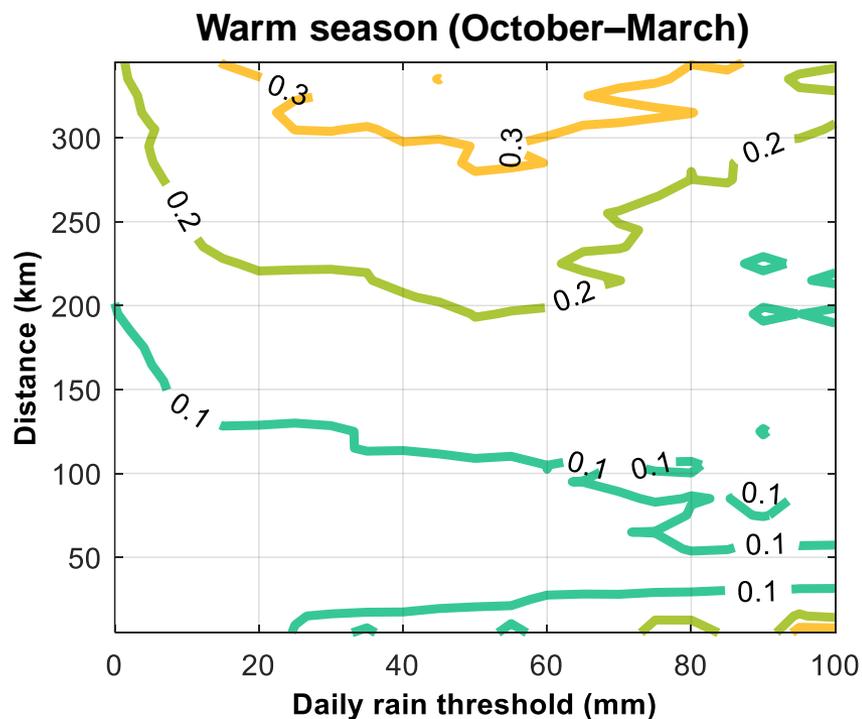
Análisis exploratorio:



SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Experiencia en Uruguay

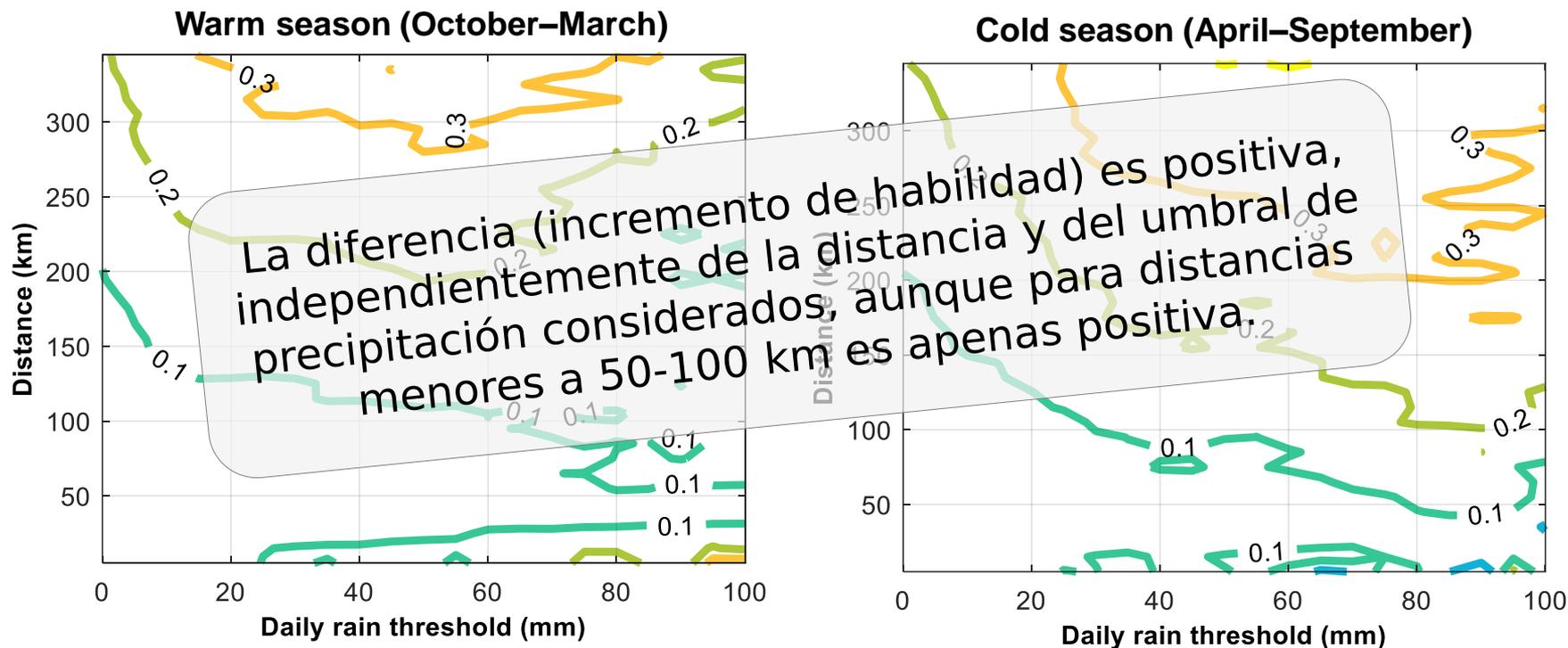
Niveles de habilidad (POD) que el uso del estimador agrega en la interpolación entre registros pluviométricos dependiendo de la escala espacial (densidad de la red pluviométrica) y la intensidad de precipitación diaria



SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Experiencia en Uruguay

Niveles de habilidad (POD) que el uso del estimador agrega en la interpolación entre registros pluviométricos dependiendo de la escala espacial (densidad de la red pluviométrica) y la intensidad de precipitación diaria

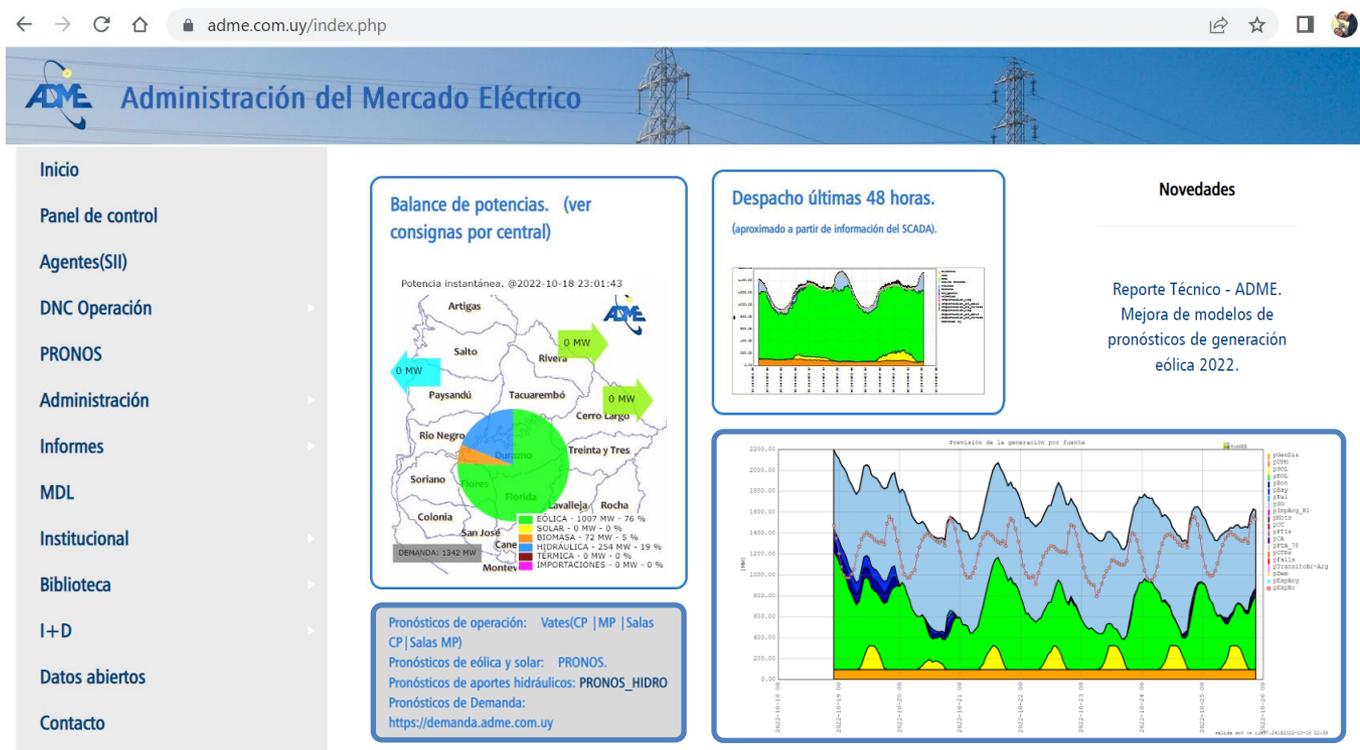


SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Experiencia en Uruguay

CONTEXTO:

- ❖ Pronóstico de caudales para generación hidroeléctrica en el Río Negro.



SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Experiencia en Uruguay

OBJETIVOS:

- ❖ Mejorar la estimación del estado del sistema al inicio del pronóstico.
- ❖ Mejorar la estimación de la precipitación ocurrida sobre la cuenca en base a la combinación de imágenes satelitales y observaciones pluviométricas en superficie

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Experiencia en Uruguay

Productos evaluados para acumulados diarios:

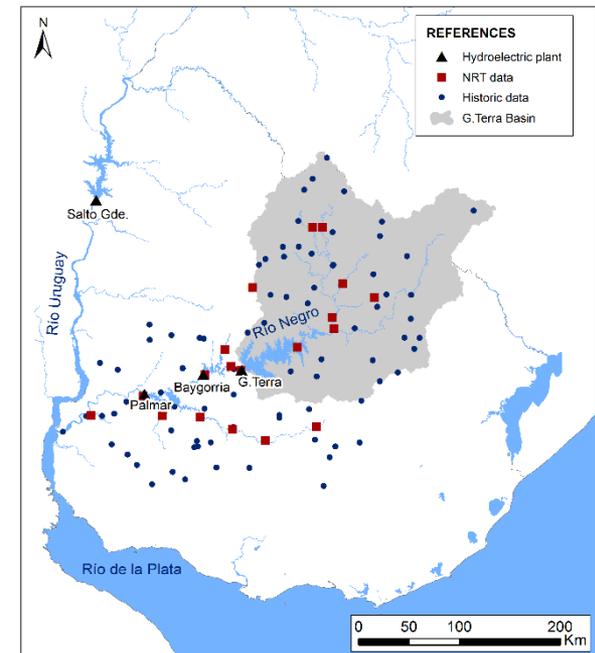
- ❖ **GSMaP**, versión GSMaP-NRT.
- ❖ **IMERG**, versión Level 3 V06, NRT Late Run.

Frecuencia de 30 minutos y una resolución espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$.

Periodo de estudio: 2017 a 2020

Área de estudio: Cuenca del Río del Negro

(19 estaciones automáticas y ≈ 100 estaciones convencionales)

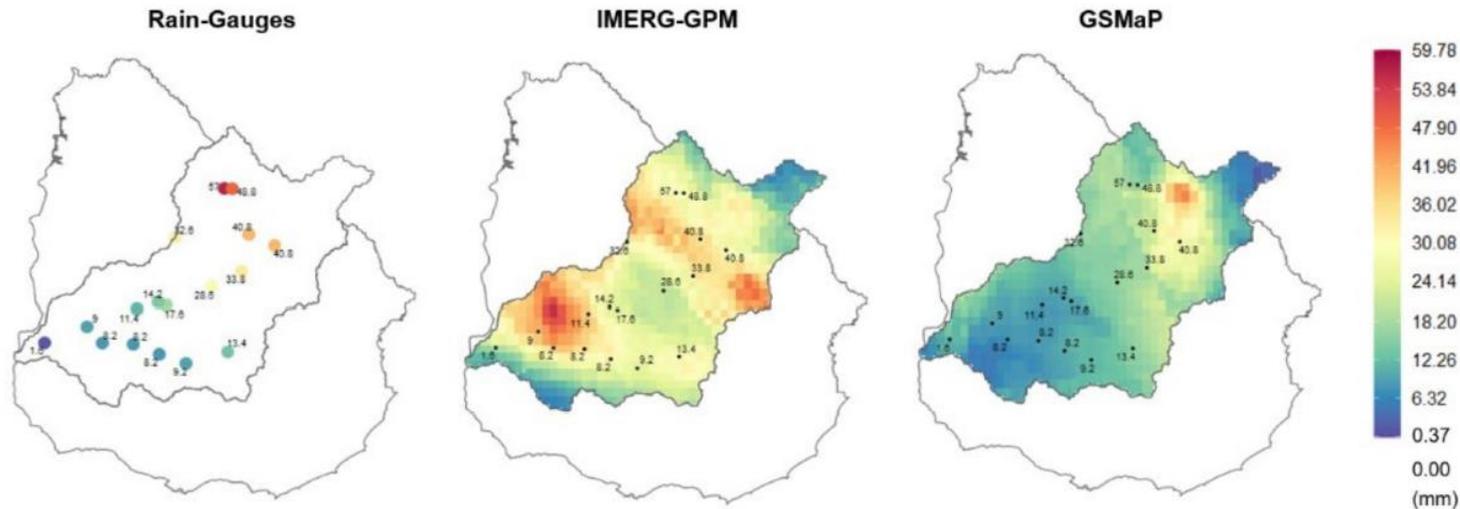


SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Experiencia en Uruguay

Table 4. Exploratory analysis of satellite estimates for the period 1 February 2017 to 31 May 2020.

Product	RMSE (mm)	POD ($P \geq 5$ mm)	Medium Coverage (%)
IMERG	9.59	0.69	99.3
GSMaP	12.86	0.71	99.9



Daily rainfall total for 2019-12-15.

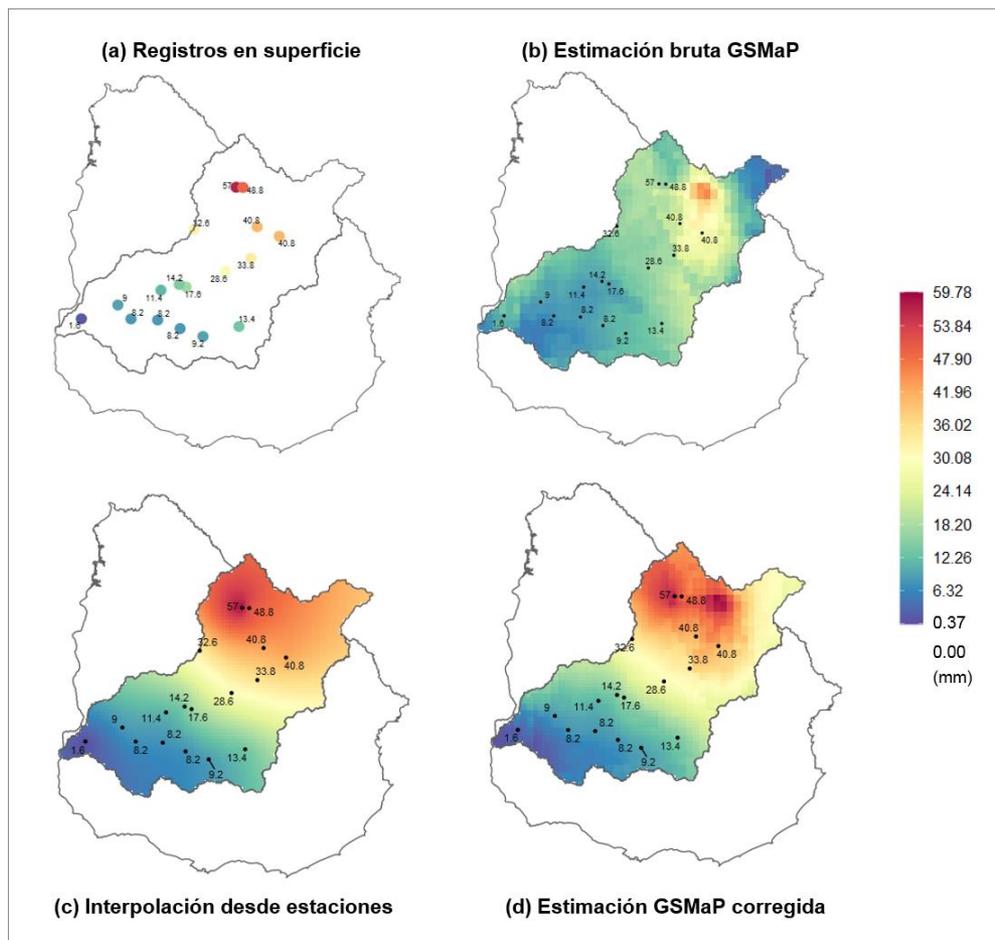
Figure 2. Comparison of rain gauge observations and satellite-rainfall estimates at daily time step (15 December 2019).

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Producto combinado

Método de interpolación geoestadístico: **Regression Kriging**

REGISTROS
PUNTUALES



ESTIMACIÓN
SATELITAL BRUTA

INTERPOLACIÓN
ENTRE REGISTROS

PRODUCTO COMBINADO:
REGISTROS + SATÉLITE

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Producto combinado

Impacto en la modelación hidrológica

Ordinary Kriging: Solo pluviómetros

Regression Kriging: Producto combinado

Metric	7-Days Filtered Inflow	
	Ordinary Kriging	Regression Kriging
RMSE (m^3/s)	442.8	411.5
R^2	0.75	0.79
NSE	0.75	0.79
KGE	0.81	0.85

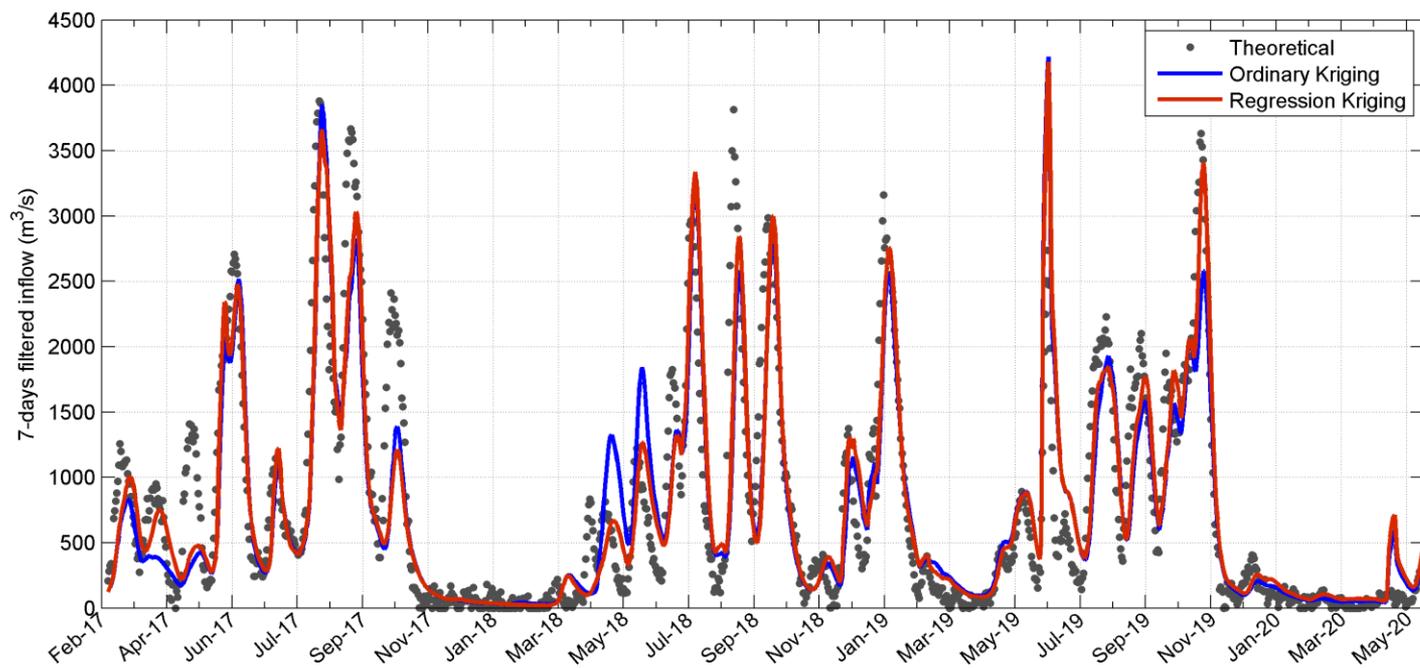
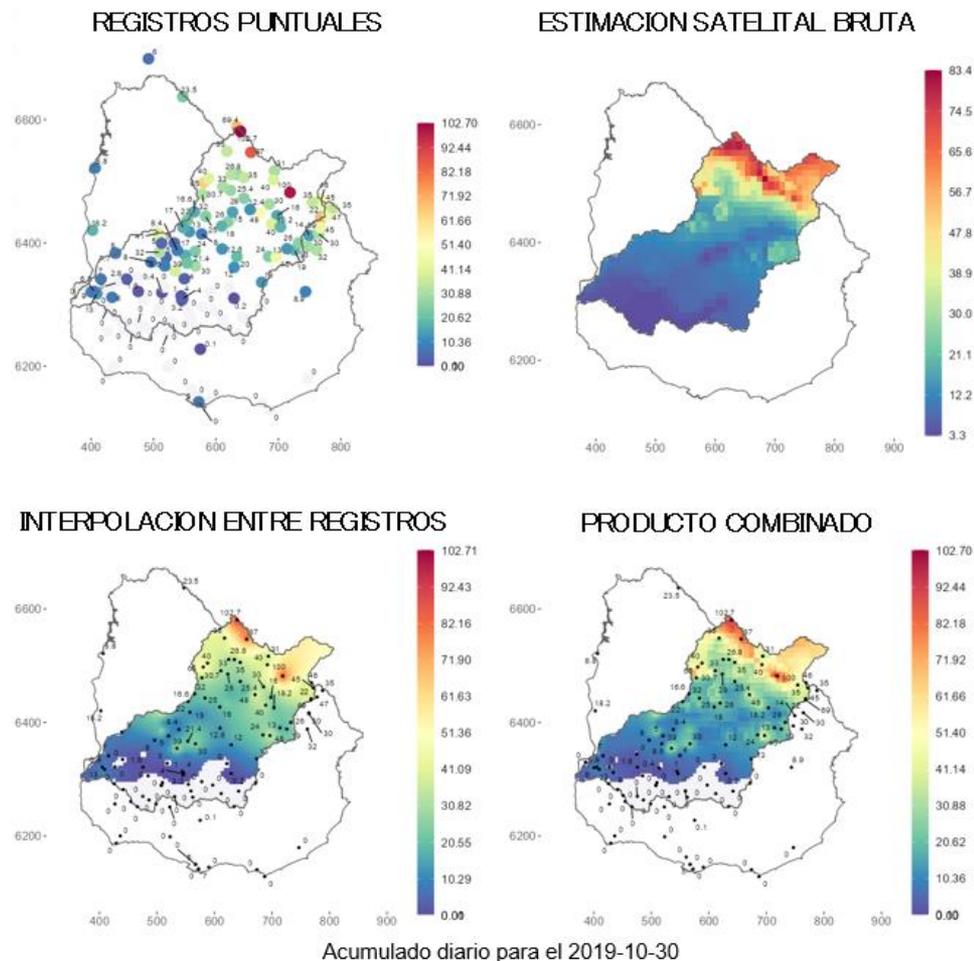


Figure 11. Comparison between theoretical and simulated (Ordinary Kriging and Regression Kriging) 7-days filtered inflows to G. Terra reservoir.

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Producto operativo

- ❖ **Metodología de combinación:**
 - Pluviómetros (170)
 - Satélite (GPM IMERG v6, GSMaP v7)
- ❖ **Modelado geoestadístico:**
Regression Kriging
- ❖ **Aplicación de máscara de lluvia**



Repositorios del proyecto:

https://github.com/Ludecan/st_interp

https://github.com/Ludecan/precip_rionegro

De Vera et al. (2021)

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Experiencia en Uruguay

Conclusiones:

- ❖ Se observa un **aumento general de la habilidad**, en comparación con la estimación satelital bruta, al usar las **técnicas de combinación** propuestas, indicando una mejora en la precisión de la estimación debido a la incorporación de las observaciones.
- ❖ Comparando la información grillada de las estaciones con los productos combinados, para el caso particular de Uruguay donde se dispone de una densidad relativamente alta de observaciones en superficie, resulta que el **desempeño de los productos combinados es comparable al de la interpolación entre registros de superficie**.

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Experiencia en Uruguay

Conclusiones:

- ❖ Por un lado, este resultado depende de la **resolución de la estimación satelital**, que es de esperar que continúe mejorando con el tiempo (en resolución y habilidad), mejorando su desempeño relativo. Por el otro, su utilidad depende, a su vez, de la **densidad de la red pluviométrica** que, para el caso particular de Uruguay, es relativamente alta.
- ❖ Aun así, las estimaciones satelitales proporcionan **información sobre la estructura espacial de la precipitación y su ocurrencia**, siendo útiles para corregir/validar la información de las estaciones en superficie.

SENSORAMIENTO REMOTO DE PRECIPITACIÓN

Bibliografía

Camberlin P., Barraud G., Bigot S., Dewitte O., Makanzu Imwangana F., Maki Mateso J-C., Martiny N., Monsieurs E., Moron V., Pellarin T., Philippon N., Sahani M., Samba G. (2019). Evaluation of remotely sensed rainfall products over Central Africa. *Q J R Meteorol Soc.*, **145**, 2115-2138. <https://doi.org/10.1002/qj.3547>

De Vera A. and Terra R. (2012). Combining CMORPH and Rain Gauges Observations over the Rio Negro Basin. *J. Hydrometeor.*, **13**, 1799-1809. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-010.1>

De Vera A., Alfaro P., Terra R. (2021). Operational Implementation of Satellite-Rain Gauge Data Merging for Hydrological Modeling. *Water* 2021, 13, 533. <https://doi.org/10.3390/w13040533>

Hobouchian M.P., García Skabar Y., Salio P., Viale M., Matsudo C., 2018. Evaluación de estimaciones de precipitación por satélite en el sur de Sudamérica. Repositorio del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Argentina. <http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/884/0016ID2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hong Y. et al. (2019). Remote Sensing Precipitation: Sensors, Retrievals, Validations, and Applications. In: Li, X., Vereecken, H. (eds) *Observation and Measurement of Ecohydrological Processes*. Ecohydrology, vol 2. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48297-1_4 (Capítulo de libro)

Huffman G.J., Bolvin D.T. and Nelkin E.J. (2015). Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) Technical Documentation. NASA/GSFC Code 612, 47.

Jiang D., Wang K. (2019). The Role of Satellite-Based Remote Sensing in Improving Simulated Streamflow: A Review. *Water* **2019**, 11, 1615. <https://doi.org/10.3390/w11081615>

Okamoto K., Iguchi T., Takahashi N., Iwanami K. and Ushio T., 2005. The global satellite mapping of precipitation (GSMaP) project. *25th IGARSS Proceedings*, 3414–3416.

Terra R., De Vera A., Alfaro P., 2015. Mejora del monitoreo de la precipitación en Uruguay mediante la combinación de observaciones pluviométricas y estimaciones satelitales de precipitación. Proyecto DACC - SNIA, Convenio FJR FING UDELAR - MGAP.