

# Utilización de Información Satelital en Tiempo Cercano al Real para la Comparación de Pronósticos Marinos

Nota Técnica SMN 2023-143

**Matias De Oto, Yanina García Skabar, Federico Cutraro,  
Maximiliano Sacco y Paula Etala**

*Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos, Dirección Nacional  
de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios*

Julio 2023

### *Información sobre Copyright*

*Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.*

*La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.*

## Resumen

La Nota Técnica tiene tres objetivos principales. En primer lugar, establece una metodología para realizar comparaciones entre pronósticos meteorológicos sobre el océano y la información satelital en tiempo cercano al real. En segundo lugar, utiliza esta metodología para comparar los pronósticos de intensidad de viento y de altura significativa de la ola sobre el Mar Argentino y el océano adyacente durante el año 2021, utilizando modelos regionales ejecutados por el SMN y los globales de ECMWF y GFS. En particular, se evalúan los pronósticos a 12 horas del ciclo determinístico de las 00Z. Los resultados indican que los pronósticos del ECMWF tienen el mejor desempeño en la región. En tercer lugar, se evalúa la calidad de las observaciones satelitales de viento cerca de la costa en comparación con las observaciones terrestres en esas áreas, considerando la posible influencia negativa de la costa en las observaciones satelitales.

## Abstract

The Technical Note has three main objectives. Firstly, it establishes a methodology for comparing oceanic weather forecasts with near-real-time satellite information. Secondly, it employs this methodology to compare wind speed and significant wave height forecasts over the Argentine Sea and adjacent ocean during the year 2021, using regional models executed by SMN and global models from ECMWF and GFS. Specifically, forecasts from the 12-hour deterministic cycle of the 00Z run are evaluated. The results indicate that ECMWF forecasts perform the best in the region. Thirdly, it evaluates the quality of satellite wind speed observations near the coast compared to terrestrial observations in those areas, taking into account the possible negative influence of the coast on satellite observations.

**Palabras clave:** comparación, verificación, pronóstico marino, información satelital, intensidad de viento, altura significativa de la ola.

## Citar como:

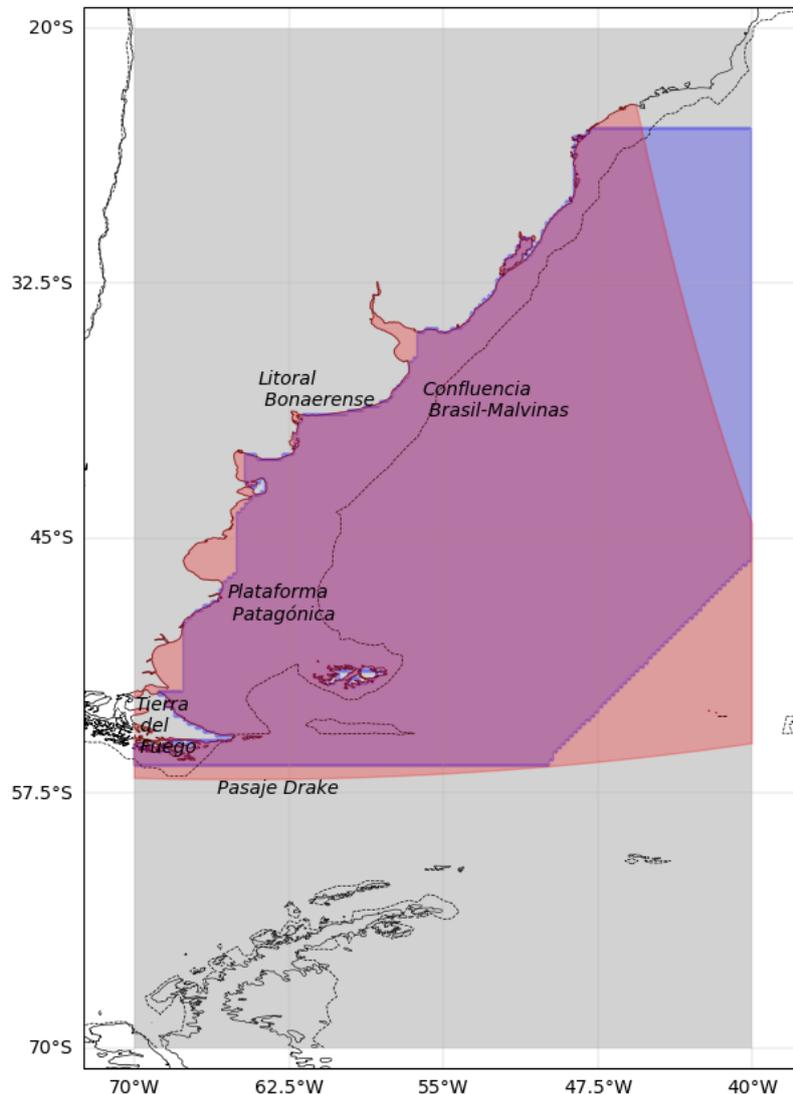
De Oto, M., García Skabar Y., Cutraro F., Sacco M, Etala P., 2023: Utilización de Información Satelital en Tiempo Cercano al Real para la Comparación de Pronósticos Marinos. Nota Técnica SMN 2023-143.

## 1. INTRODUCCIÓN

El pronóstico de las condiciones del mar es esencial para la planificación de actividades marítimas y costeras. Los servicios meteorológicos tienen la responsabilidad de proporcionar información en tiempo real sobre el viento, las olas y el nivel del mar (OMM-N°471, 2018; OMM-N° 702, 2018). Sin embargo, en la región del Sudoeste del Atlántico Sur, la falta de boyas de medición in-situ dificulta no sólo la provisión de información sino la validación y calibración de la observación satelital como la de los pronósticos (Ardhuin y otros, 2019). El objetivo principal de este estudio es proporcionar un marco metodológico para realizar la verificación de los pronósticos marinos a partir de observaciones satelitales en tiempo cercano al real. No obstante, en este estudio optamos por utilizar el término "comparación" en lugar de "verificación", pese a que las técnicas utilizadas son propias de una verificación. En segundo lugar, este trabajo utiliza dicha metodología para evaluar los pronósticos regionales y globales de la intensidad del viento (WS) y la altura significativa de las olas (SWH) durante el año 2021. Los pronósticos regionales se refieren a aquellos generados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), mientras los globales hacen referencia a los pronósticos del Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF, por sus siglas en inglés) y al Sistema Global de Pronóstico (GFS, por sus siglas en inglés) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés). Finalmente, se examina el desempeño de la intensidad de viento satelital cerca de la costa mediante observaciones terrestres cercanas, ya que se plantea la hipótesis de que la geografía costera puede afectar negativamente el rendimiento de la información satelital (por ejemplo, Tang y otros, 2004; Passaro y otros, 2021).

## 2. OBSERVACIONES SATELITALES Y PRONÓSTICOS

La Figura 1 muestra la región que comprende gran parte de la Plataforma Continental Argentina (delimitada por la costa y la isobata de 200 m) y el océano adyacente. La región limitada por las latitudes 70 ° y 20 °S y las longitudes 70 ° y 40 °O (sombreado gris) denota el dominio donde se han descargado las observaciones satelitales. La región de estudio depende de la intersección entre dicho dominio y el dominio de los modelos regionales ejecutados en el SMN. En este sentido, la región de estudio del WS (sombreado rojo) queda determinada por el dominio del modelo WRF-SMN, y la de SWH (sombreado azul) por la del modelo Austral-WW3.



**Fig. 1:** Área de estudio que comprende el Mar Argentino y océano adyacente. En sombreado gris, la región donde se ha descargado la información satelital; en sombreado rojo la región de estudio para la intensidad de viento, que corresponde a parte del dominio del modelo WRF-SMN, y en sombreado azul, la de la altura significativa de la ola, que corresponde a parte del dominio del modelo Austral-WW3. La decisión de la región de estudio se determina en base al dominio de los modelos regionales que se ejecutan en el SMN.

La información satelital de WS y SWH proviene de los satélites Ascet-B y C, CYGNSS, SMAP, Jason-3, Sentinel-6 y Saral (Tabla 1a). Se consideraron únicamente los productos de procesamiento de nivel L2 en tiempo casi real (NRT, del inglés) con una latencia de 1 a 3 horas, con excepción de CYGNSS, cuyas recuperaciones son en tiempo crítico breve (STC, del inglés), cuya latencia es de 1 a 3 días. Esta característica de los productos seleccionados concuerda con una visión de integración veloz de la red de observaciones satelitales a la cadena de diagnóstico y apoyo al modelado oceánico. Cabe destacar que la información satelital empleada se encuentra en varios formatos dentro del repositorio activo de PODAAC<sup>1</sup> (del inglés, Physical Oceanography Distributed Active Archive Center), desde el cual se efectuó la descarga para el año 2021, mediante la aplicación *podaac-data-subscriber* (ver Catálogo Tabla 1a). Los archivos descargados son preferentemente NetCDF y contienen la información de un ciclo orbital con una duración aproximada de 1.5 h, salvo para la misión CYGNSS donde la información se encuentra concatenada en 1 día. La resolución

<sup>1</sup> <https://podaac.jpl.nasa.gov/>

espacial de las observaciones oscila entre 7 y 60 km, y está relacionada con la frecuencia de muestreo temporal y las características de cada sensor (ver Tabla 1a). Se recomienda la lectura De Oto y otros (2022) para profundizar sobre dichas características.

Los pronósticos de WS se extrajeron del cómputo de las componentes de viento horizontal del modelo regional WRF-SMN (Dillon y otros, 2020) ejecutado en el SMN y de los modelos globales GFS<sup>2</sup> y ECMWF<sup>3</sup>. En cambio, los de SWH, se extrajeron del modelo regional Austral-WW3 (Etala y otros, 2014) ejecutado por el SMN/SHN, y de los modelos globales GFS-WW3 y ECMWF-WAM, obtenidos desde la nube AWS<sup>4</sup> y el repositorio MARS<sup>5</sup>, respectivamente. En todos los casos, se utilizó el esquema determinístico, y dado que el modelo GFS-WW3 utiliza subdominios, se extrajo el correspondiente al océano austral (GSOUTH). La resolución de los pronósticos de WS y SWH pueden consultarse en la Tabla 1b. Todos los pronósticos utilizados corresponden al año 2021.

**Tabla 1a:** Información satelital de WS y SWH.

Sensor (Nombre/ Tipo)	Satélite	Tipo de órbita	Catálogo	Variable	Res. espacial aprox. de la celda (km <sup>2</sup> )
Poseidon-3B / Altimetro RAR	Jason-3	Polar no heliosíncrona	JASON_3_L2_OST_OGDR_GPS	WS, SWH	7 x ~10
Poseidón-4 / Altimetro SAR	Sentinel-6	Polar no heliosíncrona	JASON_CS_S6A_L2_ALT_LR_RED_OS T_NRT_F	WS, SWH	7 x ~10
AltiKa / Altimetro RAR	Saral	Polar heliosíncrona	ALTIKA_SARAL_L2_OST_XOGDR	WS, SWH	7 x ~10
DDMI / Reflectómetro	Cygnss	Tropical no heliosíncrona	CYGNSS_L2_V3.1	WS	25 x 25
Ascat-B / Dispersómetro	Metop-B	Polar heliosíncrona	ASCATB-L2-Coastal	WS	25 x 25
Ascat-C / Dispersómetro	Metop-C	Polar heliosíncrona	ASCATC-L2-Coastal	WS	25 x 25
SMAP / Radiómetro	SMAP	Polar heliosíncrona	SMAP_JPL_L2B_SSS_CAP_V5	WS	60 x 25

<sup>2</sup> [https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/numerical\\_forecast\\_systems/gfs/documentation.php](https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/numerical_forecast_systems/gfs/documentation.php)

<sup>3</sup> <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support/changes-ecmwf-model>

<sup>4</sup> <https://noaa-gfs-bdp-pds.s3.amazonaws.com/index.html>

<sup>5</sup> <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/operational-archive>

**Tabla 1b:** Características de los modelos numéricos utilizados para la obtención de los pronósticos de WS y SWH.

Variable	Modelo Numérico	Resolución espacial
WS	WRF-SMN	Retícula Regular 4 km
SWH	Austral-WW3	Retícula Regular 0.2°
WS, SWH	GFS-WW3 (GSOUTH)	Retícula Regular 0.25°
WS, SWH	ECMWF-WAM	Gauss ~0.08° - Reducida 0.125°

Dado que existe una fuerte hipótesis de que la geografía costera influye negativamente en el desempeño de la información satelital, el WS satelital cerca de la costa se comparó con observaciones terrestres de estaciones meteorológicas costeras. Se consideraron 27 estaciones meteorológicas que se ubican en un radio menor a 25 km de la costa (Tabla 2). La información meteorológica de WS se descargó para todo el año 2021, mediante la librería *climate*<sup>6</sup> del lenguaje de programación *R*<sup>7</sup> que permite un acceso al repositorio de observaciones horarias de la NOAA.

**Tabla 2:** Estaciones meteorológicas costeras utilizadas para verificar la información de WS satelital, dentro de un radio menor a 25 km de distancia a la costa.

Nombre	País	Id	Latitud (S)	Longitud (O)	Altura (m)
B. Carlini	Antártida	89053	62°14'	58°40'	11
B. Esperanza	Antártida	88963	63°24'	57°00'	24
B. Orcadas	Antártida	88968	60°44'	44°44'	12
B. San Martin	Antártida	89066	68°08'	67°06'	7
Bahía Blanca	Argentina	87750	34°43'	62°10'	83
Dolores	Argentina	87648	36°19'	57°43'	9
La Plata	Argentina	87593	34°58'	57°54'	23
Mar del Plata	Argentina	87692	37°56'	57°35'	21
Punta Indio	Argentina	87596	35°21'	57°18'	22
Aeroparque	Argentina	87582	34°34'	58°25'	6

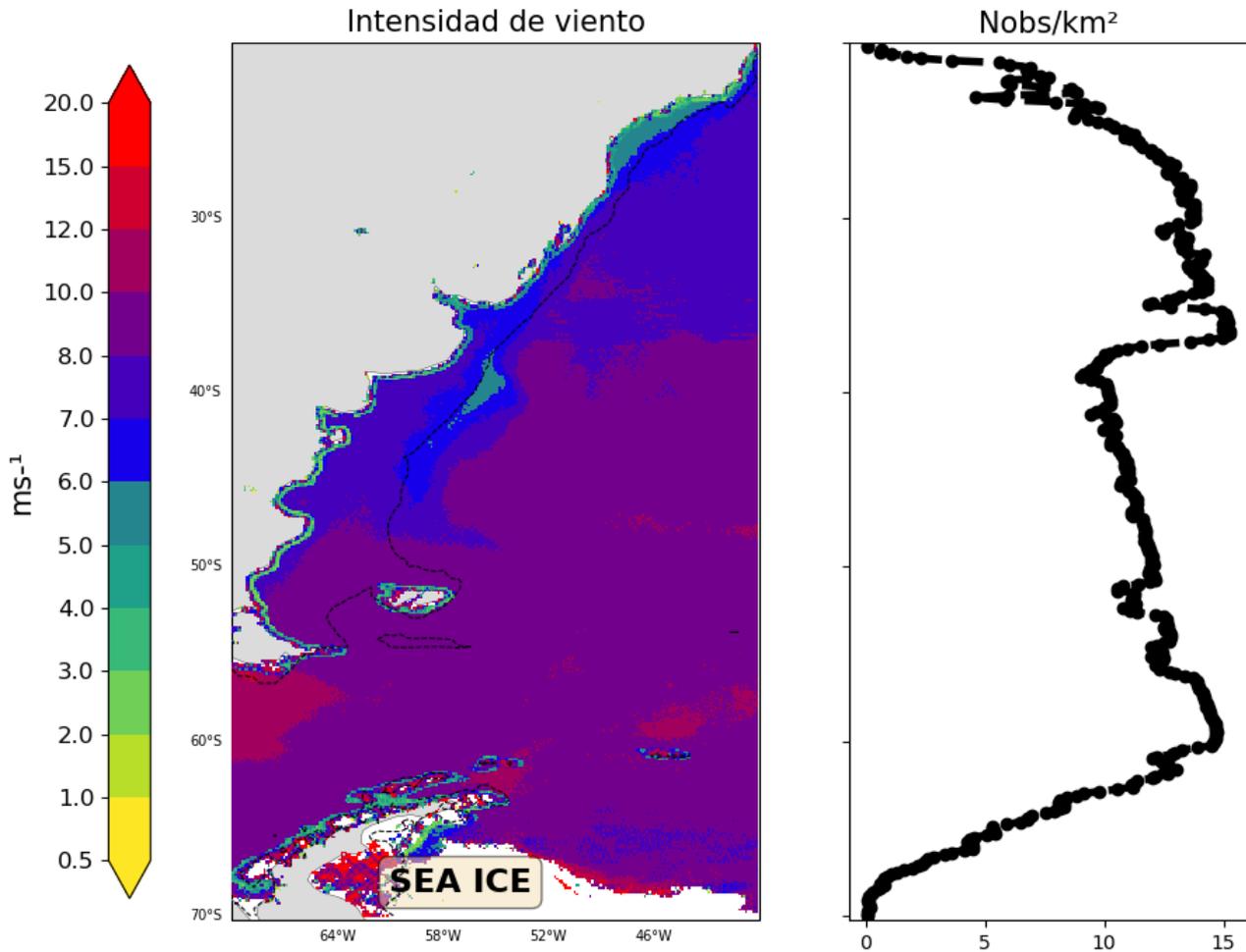
<sup>6</sup> <https://github.com/bczernecki/climate>

<sup>7</sup> <https://www.r-project.org/>

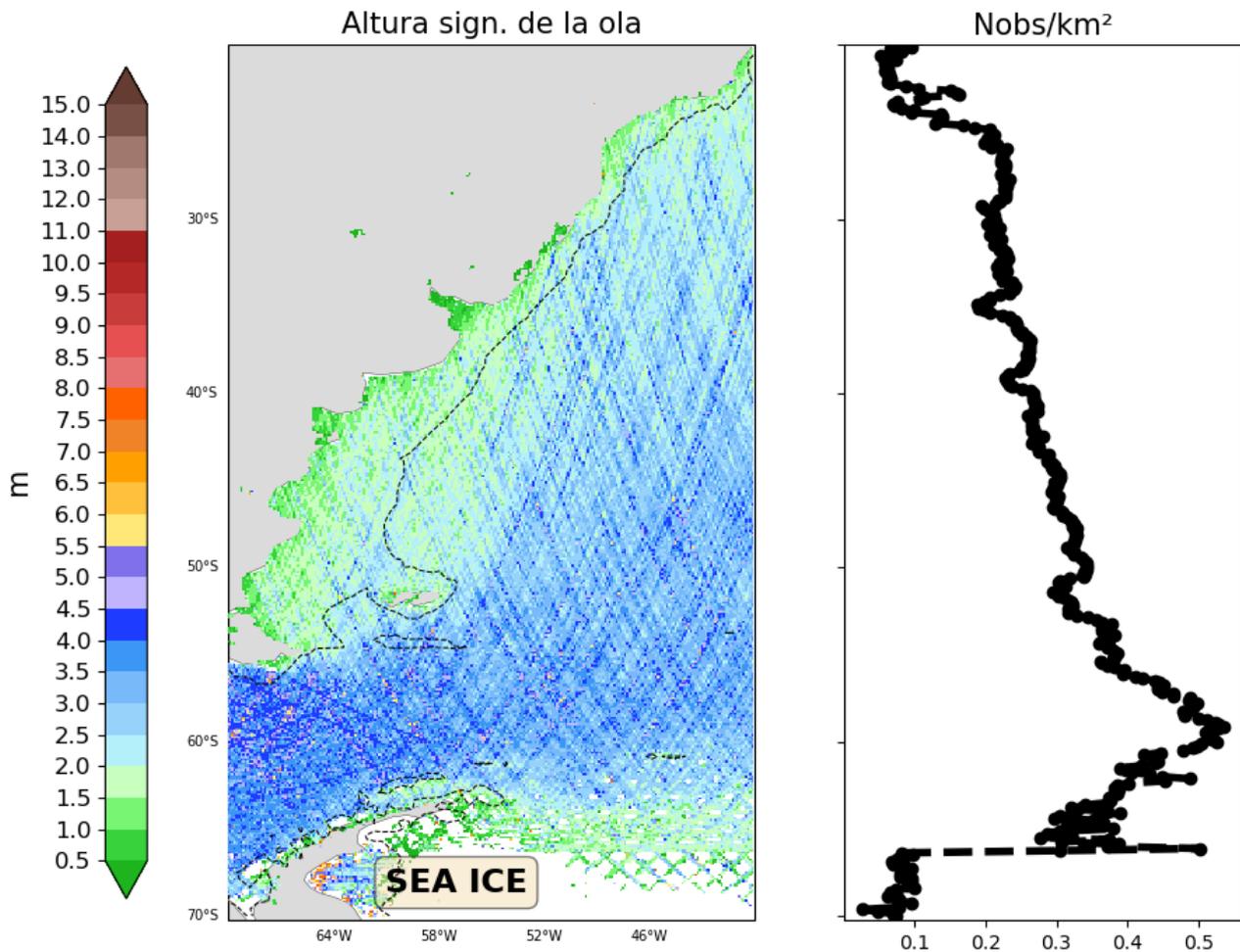
Comodoro Rivadavia	Argentina	87860	45°48'	67°28'	46
Puerto Madryn	Argentina	87823	42°45'	65°06'	136
Trelew	Argentina	87828	43°13'	65°17'	43
San Antonio Oeste	Argentina	87784	40°45'	65°02'	20
Viedma	Argentina	87791	40°52'	63°00'	7
Puerto Deseado	Argentina	87896	47°44'	65°54'	80
Río Gallegos	Argentina	87925	51°37'	69°18'	19
San Julian	Argentina	87909	49°18'	67°48'	62
Río Grande	Argentina	87934	53°47'	67°46'	22
Ushuaia	Argentina	87938	54°50'	68°18'	57
Puerto Williams	Chile	85968	54°56'	67°37'	26
Punta del Este	Uruguay	86595	34°58'	54°57'	24
Rocha	Uruguay	86565	34°29'	54°18'	18
Florida	Uruguay	86545	34°04'	56°14'	97
Carrasco	Uruguay	86580	34°50'	56°00'	32
Monte Agradable (Mount Pleasant)	Islas Malvinas	88889	51°49'	58°27'	74
Monte Kent (Mount Kent)	Islas Malvinas	88881	51°40'	58°06'	0

### 3. METODOLOGÍA

Se consideró que las observaciones satelitales sobre el área de estudio son instantáneas dado que los satélites no demoran más de 15 minutos en muestrear la región de estudio (De Oto y otros, 2022). Se redondeó la observación satelital a la hora más próxima para emparejarse con la resolución temporal de los pronósticos. Este emparejamiento deriva en un desfase temporal menor a los 30 minutos. Por tal motivo, fenómenos meteorológicos de corta escala temporal no son representados con la metodología empleada en este trabajo. A modo de ejemplo, el panel izquierdo de la Figura 2 muestra el promedio temporal de WS sin discriminar por satélite. De la misma forma, la Figura 3 lo hace para SWH. Dicho promedio temporal se calculó para el año 2021 (con gaps) y en "bins" de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ . En el panel derecho de ambas figuras se muestra el promedio zonal de observaciones por  $\text{km}^2$  que se han utilizado en el cómputo del promedio temporal. Obsérvese que el promedio zonal de observaciones de WS ronda entre  $10/\text{km}^2$  -  $15/\text{km}^2$ , y es hasta 2 órdenes de magnitud mayor que el de SWH, que ronda entre  $0.2/\text{km}^2$  y  $0.5/\text{km}^2$ . Nótese que, a diferencia de las observaciones de SWH que aumentan su concentración progresivamente hacia el sur, las de WS presentan un máximo entre  $20$  y  $40^\circ\text{S}$  esto se debe a la incorporación de la misión de órbita tropical CYGNSS (ver Tabla 1a).

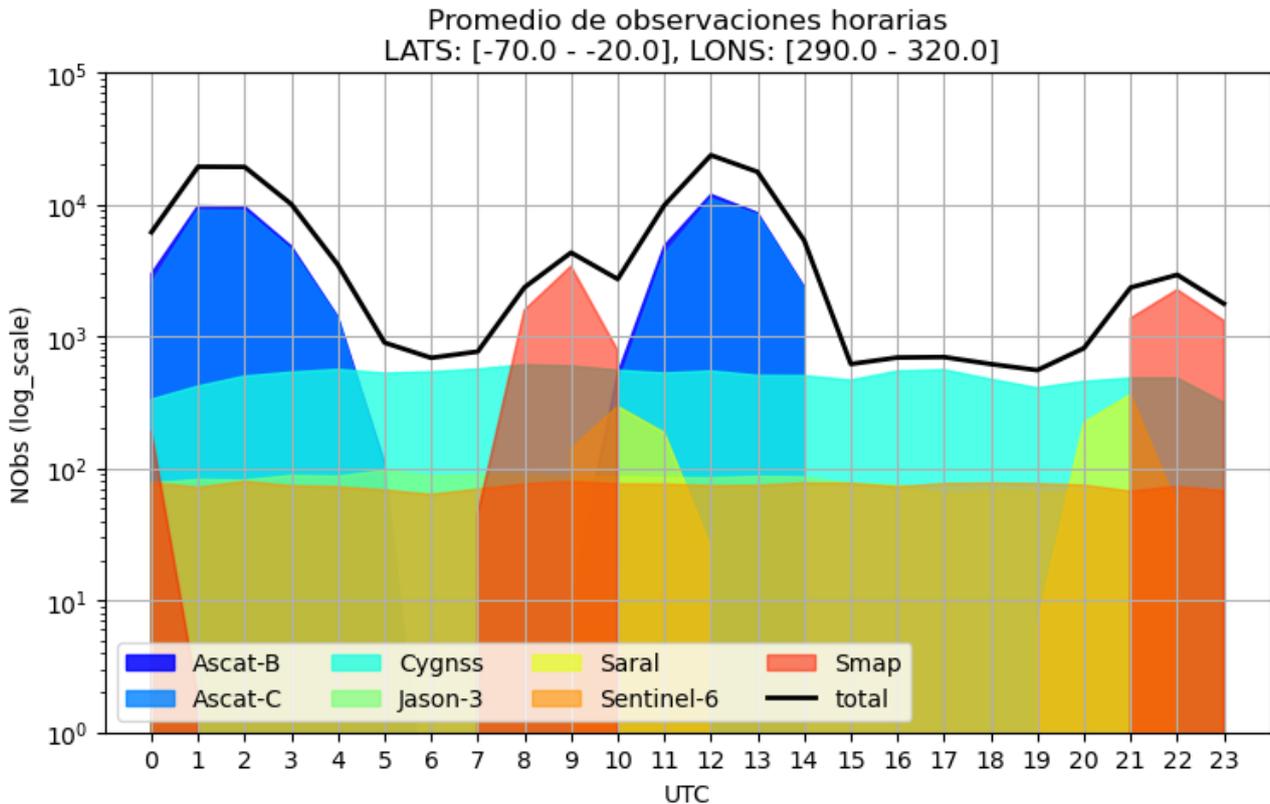


**Fig 2:** Campo promediado de intensidad de viento [ $ms^{-1}$ ] (izq.) y promedio zonal, sin discriminar por satélite, de observaciones satelitales por unidad de área (der.) durante el año 2021. La línea negra punteada denota la isobata de 200 m.



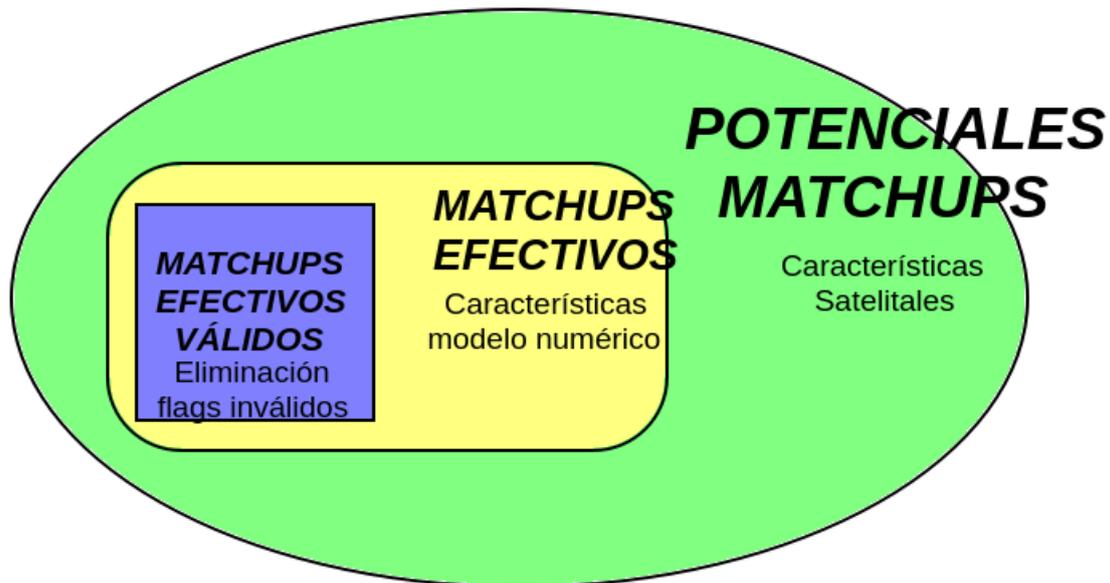
**Fig 3:** Ídem Fig. 2, pero para la altura significativa de la ola [m].

La Figura 4 muestra el promedio diario de observaciones satelitales de WS (escala logarítmica) en función de la hora del día. Obsérvese que existen dos máximos diarios, durante el mediodía y la medianoche (UTC), una consecuencia del tipo de órbita satelital, la gran mayoría heliosíncrona (ver Tabla 1a). Nótese, además, que el orden de magnitud en el número de observaciones puede diferir hasta dos órdenes de magnitud entre los distintos satélites, una consecuencia del tipo de barrido que realizan los sensores (De Oto y otros, 2022). En rasgos generales, se observa que para el WS existe un mayor número de observaciones satelitales entre los periodos comprendidos entre las 00 y 03 UTC y las 11 y 14 UTC.



**Fig 4:** Promedio de observaciones diarias de intensidad de viento en función de la hora del día, en UTC, para los distintos satélites utilizados (sombreado) y suma total (línea continua oscura). El dominio corresponde a la región de descarga de la información satelital, entre las latitudes  $-70^\circ$  y  $-20^\circ$  S y las longitudes  $290^\circ$  y  $320^\circ$  O.

Para realizar la comparación/verificación, el pronóstico se interpoló a la traza satelital utilizando el método del nodo más cercano. Como resultado, se obtuvieron pares modelo-satélite con la misma ubicación espacial, a los que denominamos **matchups**. Los matchups no sólo tienen información de las variaciones diarias en la concentración de las observaciones satelitales (ver Fig. 4), sino que también tienen información de la distribución espacial de las mismas (ver panel derecho de las Figs. 2 y 3). Para realizar una selección óptima de las franjas horarias y así aumentar el número de matchups, introducimos las siguientes definiciones. Denominamos como **potenciales matchups** a aquellos que dependen exclusivamente de las características satelitales, como por ejemplo la variable de observación, el barrido satelital, el tipo de órbita y la hora del día (ver Fig. 4). Denominamos como **matchups efectivos**, al subconjunto de los potenciales matchups que dependen de las características del modelo, como su dominio espacial y su resolución temporal (horario o tri-horario, etc). Finalmente, denominamos a los **matchups efectivos válidos** a aquellos matchups efectivos que han sido tratados mediante el enmascaramiento de los **flags inválidos** (del inglés, *invalid flags*). La Figura 5 muestra un esquema conceptual del conjunto numérico que abarcan dichas denominaciones.



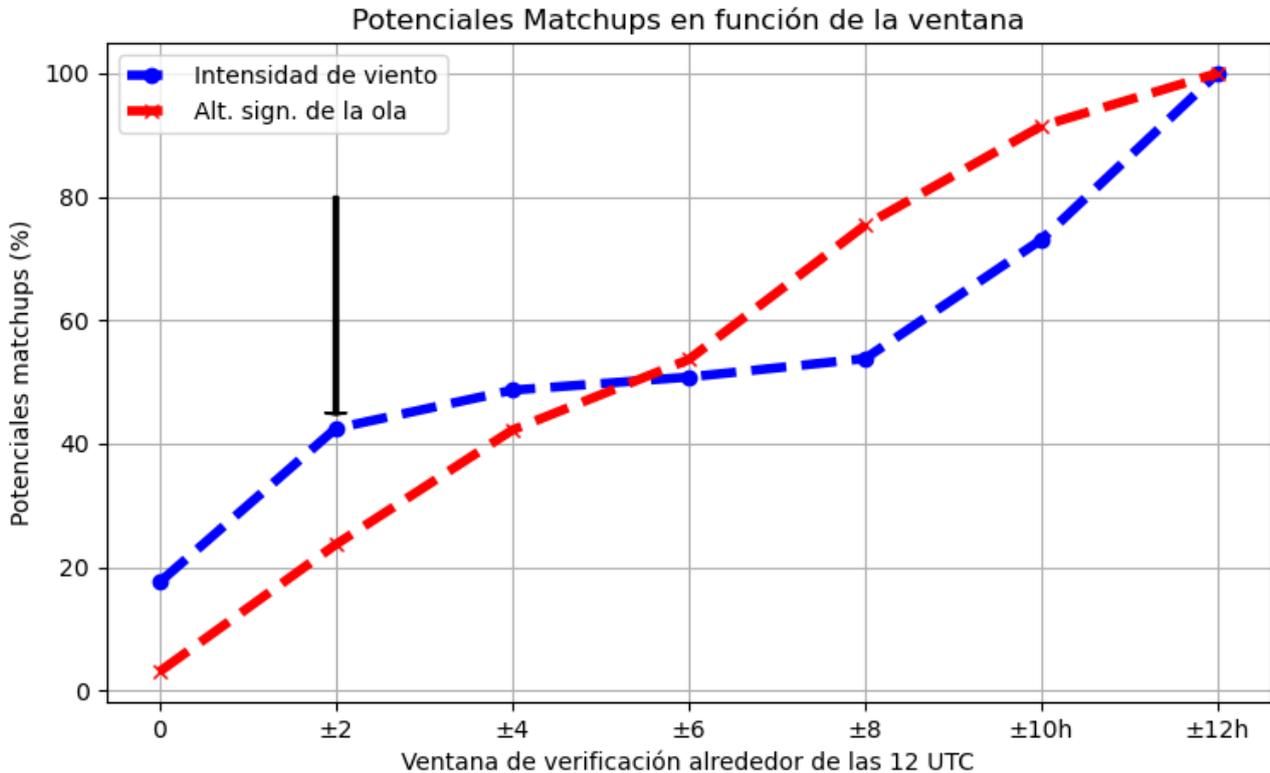
**Fig. 5:** Conjunto numérico de matchups que abarca cada denominación. El mayor conjunto lo comprenden los potenciales matchups que corresponden a la totalidad de las observaciones satelitales, luego siguen en proporción los matchups efectivos que dependen del dominio del modelo y de su resolución temporal, finalmente, se encuentran los matchups efectivos válidos, que no se constituyen de flags inválidos.

De esta manera, el número de matchups efectivos válidos queda definido como:

$$N^{\circ} \text{ MATCHUPS} = f(a, b, c)$$

siendo  $a$  una variable que depende de las características satelitales,  $b$  de las características del modelo, y  $c$  de los flags inválidos. Dado que no se tiene control sobre los flags inválidos, la única alternativa para aumentar el número de matchups efectivos válidos, y conseguir la robustez de la estadística de desempeño, es aumentando el número de potenciales matchups a través del uso de una **ventana de verificación**. La ventana de verificación se define como un periodo temporal en donde se realiza una comparación/verificación, y se distingue de la verificación puntual, la cual se realiza para una hora determinada. Por ejemplo, la NCEP/NOAA documenta<sup>8</sup> que la comparación/verificación de SWH se realiza con una ventana de  $\pm 1$  h alrededor del plazo del pronóstico a verificar. La Figura 6 muestra cómo aumenta el número de potenciales matchups en función de las ventanas de verificación de 0, 2, 4, 8, 10 y 12 hs alrededor de las 12 UTC para el WS (azul) y la SWH (rojo). Los potenciales matchups se expresan en porcentajes del cociente entre el número de observaciones satelitales entre los rangos de ventanas consideradas y el número de observaciones diarias.

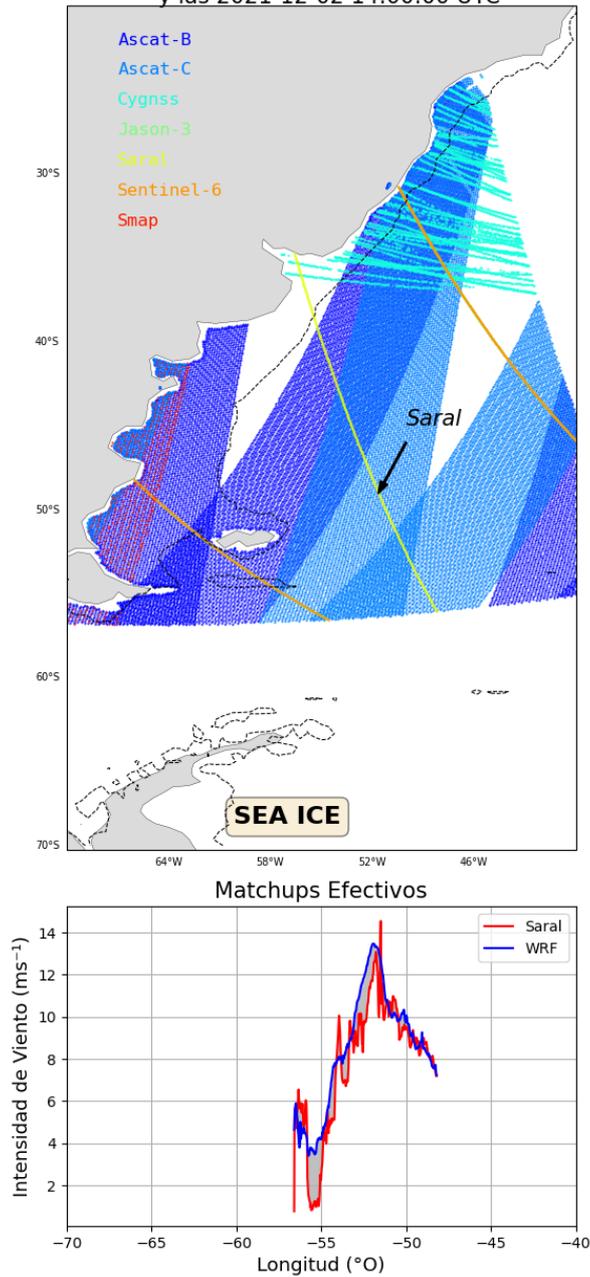
<sup>8</sup> <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/validation/gfsv16/satellite/>



**Fig 6:** Porcentaje de potenciales matchups sobre el total de observaciones satelitales diarias en función del aumento de la ventana de verificación alrededor de las 12 UTC para intensidad de viento (azul) y altura significativa de la ola (rojo). La flecha indica la ventana de  $\pm 2h$ , es decir el porcentaje del cociente entre las observaciones satelitales entre las 10 y las 14 UTC y las observaciones totales diarias, i. e. observaciones satelitales entre las 00 y las 24 UTC.

En vistas de la Figura 6, existe un aumento de 25% de potenciales matchups para el WS y de 20% para la SWH utilizando la ventana de  $\pm 2$  hs (flecha negra en Fig. 6) respecto de su no consideración, i.e. ventana nula. En consecuencia, para aumentar el número de matchups efectivos se seleccionó la inicialización de 00 UTC, el plazo de 12 horas y una ventana de verificación de  $\pm 2h$  por lo que la verificación/comparación se realiza entre las 10 y las 14 UTC. La Figura 7 muestra un ejemplo de las trazas satelitales (panel superior, ver etiquetas) para el periodo comprendido entre las 10 y las 14 UTC del día 2 de diciembre de 2021 y los respectivos matchups efectivos de WS (panel inferior) en función de la longitud para el pronóstico a  $12\pm 2h$  del modelo WRF-SMN-determinístico inicializado a las 00Z (azul) y las observaciones de Saral (rojo). Los matchups efectivos no se encuentran enmascarados por medio de los flags inválidos y se encuentran restringidos al dominio de WRF-SMN. Se muestra además la diferencia relativa (sombreado gris) de WS en los matchups efectivos.

Trazas satelitales entre las 2021-12-02 10:00:00 y las 2021-12-02 14:00:00 UTC



**Fig 7:** Trazas satelitales (ver etiquetas) entre las 10 y las 14 UTC del día 2 de diciembre de 2021 (panel superior) y matchups efectivos de intensidad de viento [ $\text{ms}^{-1}$ ] (panel inferior) entre Jason-3 (rojo) y el pronóstico a  $12\pm 2\text{h}$  de WRF-SMN-determinístico 00Z (azul) y su diferencia relativa (sombreado gris) en función de la longitud. La línea negra punteada denota la isobata de 200 m.

Como se mencionó, el número de matchups efectivos dependerá del dominio espacial del modelo, como de su resolución temporal. Por tal motivo, y dada la variedad de modelos numéricos considerados en este trabajo, los estadísticos de desempeño deben realizarse sobre dominios compatibles. En el caso del WS se utiliza la intersección del dominio de descarga de datos satelitales con el dominio del WRF-SMN, mientras que para la SWH se utiliza la intersección con el Austral-WW3 (ver Fig. 1). Con respecto a los flags inválidos, estos dependen de cada sensor satelital (De Oto y otros, 2022), sin embargo no son función de los mismos. Por ejemplo, los flags inválidos se requieren para realizar el enmascaramiento de información contaminada y

dicha contaminación es variable temporalmente. En este trabajo, se considera a los flags de presencia continental, de hielo y de lluvia y un nuevo flag inválido denominado **diferencias extremas**. Este nuevo flag se computa cuando en el matchup efectivo existe una diferencia relativa en la variable de estudio que supera un umbral predefinido ( $|\text{modelo} - \text{satélite}| > \text{umbral predefinido}$ , ver Tabla 3). De esta manera, se logran filtrar valores extremos en los matchups efectivos derivados de errores de órbita, del sensor y/o de misiones sin posibilidad de etiquetar flags (véase misión Saral en De Oto y otros, 2022). En el panel inferior de la Figura 7 se observa un ejemplo concreto de cómputo de la diferencia de WS en los matchups efectivos Saral/WRF-SMN-determinístico (sombreado gris), en este caso la diferencia de WS no ha superado el umbral predefinido de  $10 \text{ ms}^{-1}$ , por lo que no se han catalogado flags inválidos por diferencias extremas.

**Tabla 3:** Umbrales seleccionados para generar el flag inválido por diferencias extremas

WS  modelo - satélite	$10 \text{ ms}^{-1}$
SWH  modelo - satélite	5 m

Los estadísticos de desempeño utilizados en este trabajo fueron el sesgo (*Bias*, ec. 3.1), el error cuadrático medio de la diferencia (*RMSD*, ec. 3.2), el error cuadrático medio de la diferencia normalizado por la máxima amplitud de la observación satelital (*NRMSE*, ec. 3.3) y el índice de dispersión (*Scatter Index*, ec. 3.4, Mentaschi y otros, 2013).

$$Bias = \bar{s} - \bar{o} \quad (3.1)$$

$$RMSD = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (s_n - o_n)^2 \quad (3.2)$$

$$NRMSE = \frac{RMSD}{\max(o) - \min(o)} \quad (3.3)$$

$$Scatter Index = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^N [(s_n - \bar{s}) - (o_n - \bar{o})]^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^N o_n^2}} \quad (3.4)$$

en donde los subíndice  $n$  y  $N$  representan los matchups efectivos y su cantidad total en bins espaciales;  $s_n$  y  $o_n$  representan el pronóstico y la observación satelital de la variable en cuestión, respectivamente, y  $\bar{s}$  y  $\bar{o}$  sus medias computadas en dichos bins. Los estadísticos de desempeño se computaron en base a los matchups efectivos válidos y considerando toda la información satelital, es decir no se ha realizado una segregación por satélite y/o sensor.

A modo de resumen, se presentan los pasos de la metodología utilizada para realizar la comparación de los pronósticos.

- Medición satelital instantánea y redondeo a hora más próxima
- Selección de la inicialización de 00 UTC, el plazo de 12 horas y la ventana de verificación de  $\pm 2$  h alrededor debido a que maximizan los potenciales matchups
- Cálculo de los matchups efectivos interpolando el pronóstico a la traza satelital mediante

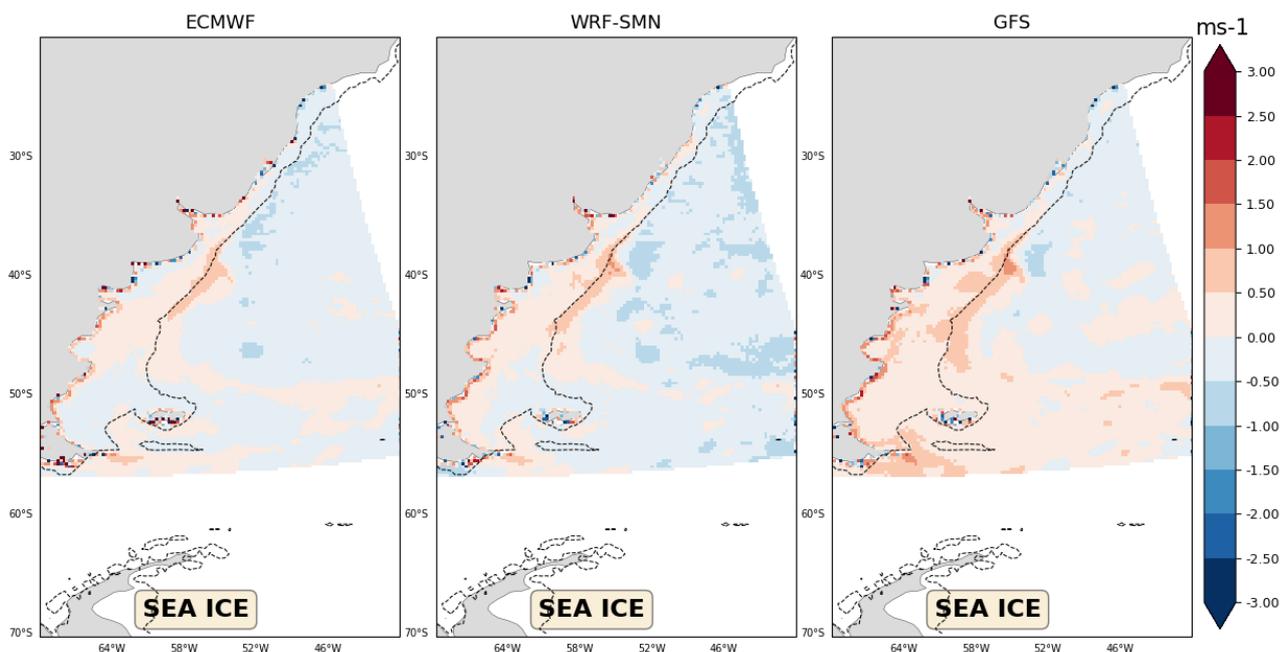
el método del nodo más cercano

→ Cómputo de los matchups efectivos válidos mediante el uso de flags inválidos de presencia continental, hielo, lluvia y “diferencias extremas”.

→ Cómputo de estadísticos en bins espaciales, que pueden depender de la variable de estudio.

## 4. RESULTADOS

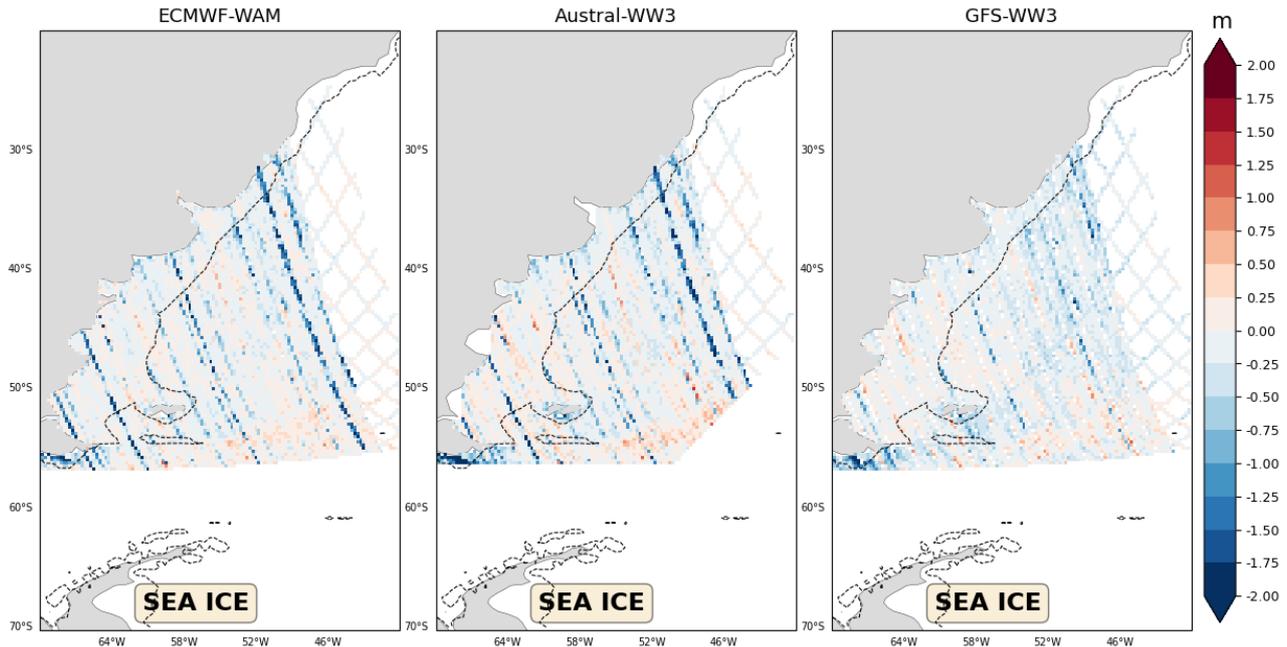
La Figura 8 muestra los campos espaciales de Bias (ec. 3.1) de WS para ECMWF (panel izquierdo), WRF-SMN (panel medio) y GFS (panel derecho) generados a partir del agrupamiento de matchups efectivos válidos en bins de 0.25°. Mientras que la Figura 9a se muestran los de SWH para ECMWF-WAM (panel izquierdo), Austral-WW3 (panel medio) y GFS-WW3 (panel derecho) computados en bins de 0.25°.



**Fig. 8:** Campo espacial de Bias (ec 3.1) de intensidad de viento [ms-1] para ECMWF (panel izquierdo), WRF-SMN (panel central) y GFS (panel derecho). El cómputo se ha realizado mediante el agrupamiento en bins de 0.25° de los matchups efectivos válidos de todos los satélites considerados en este trabajo (ver Tabla 1a). El dominio es el correspondiente al modelo regional WRF-SMN y la línea negra punteada denota la isobata de 200 m.

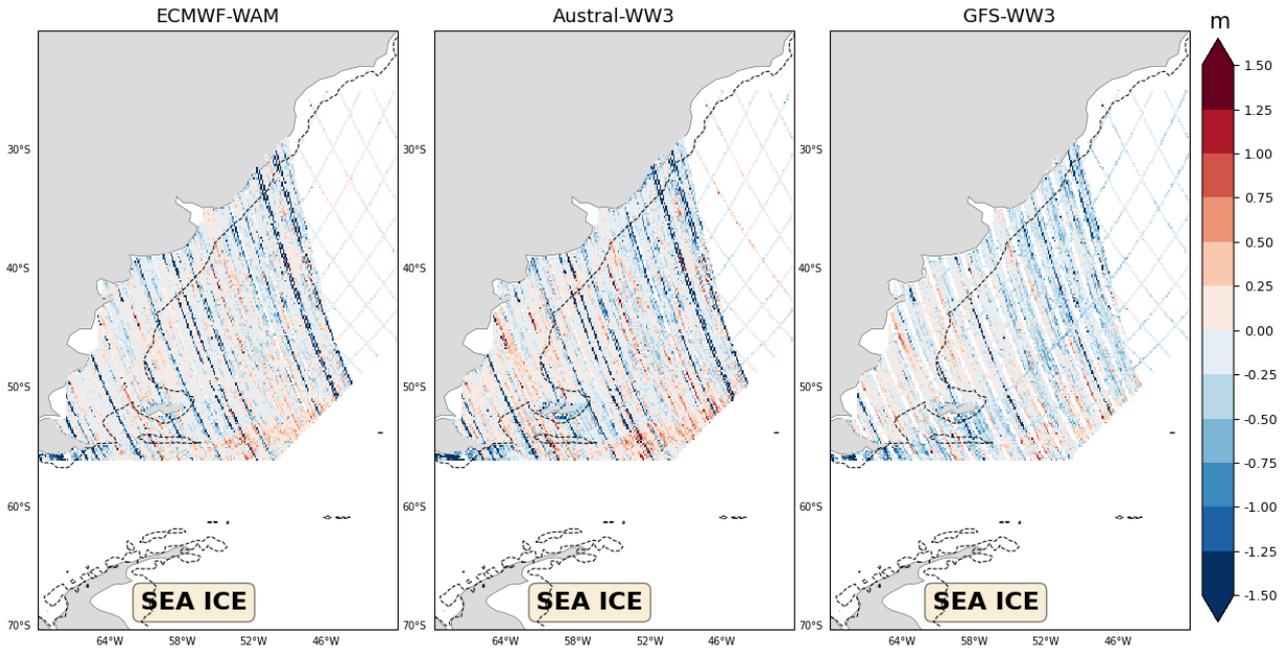
La Figura 8 muestra que las mayores diferencias entre el pronóstico de WS y las observaciones satelitales se encuentran sobre la Plataforma Continental Argentina, particularmente sobre el sector de la Confluencia de Brasil-Malvinas y al sur y sudeste de Tierra del Fuego (ver Fig. 1). En las regiones mencionadas, el WS pronosticado es mayor a 1 ms-1 que el satelital. El modelo GFS presenta una bias positivo en el sur del dominio respecto de sus pares. Hacia el norte de la Confluencia de Brasil-Malvinas, y particularmente hacia océano abierto, el WS satelital tiende a ser subestimado por los pronósticos en hasta 1 ms-1. Bias positivos, se observan, en general, sobre el sector restringido a la costa, indicando que el pronóstico de WS es mayor

que el observado satelitalmente. Esta observación será retomada mediante el uso de observaciones continentales próximas a la costa.



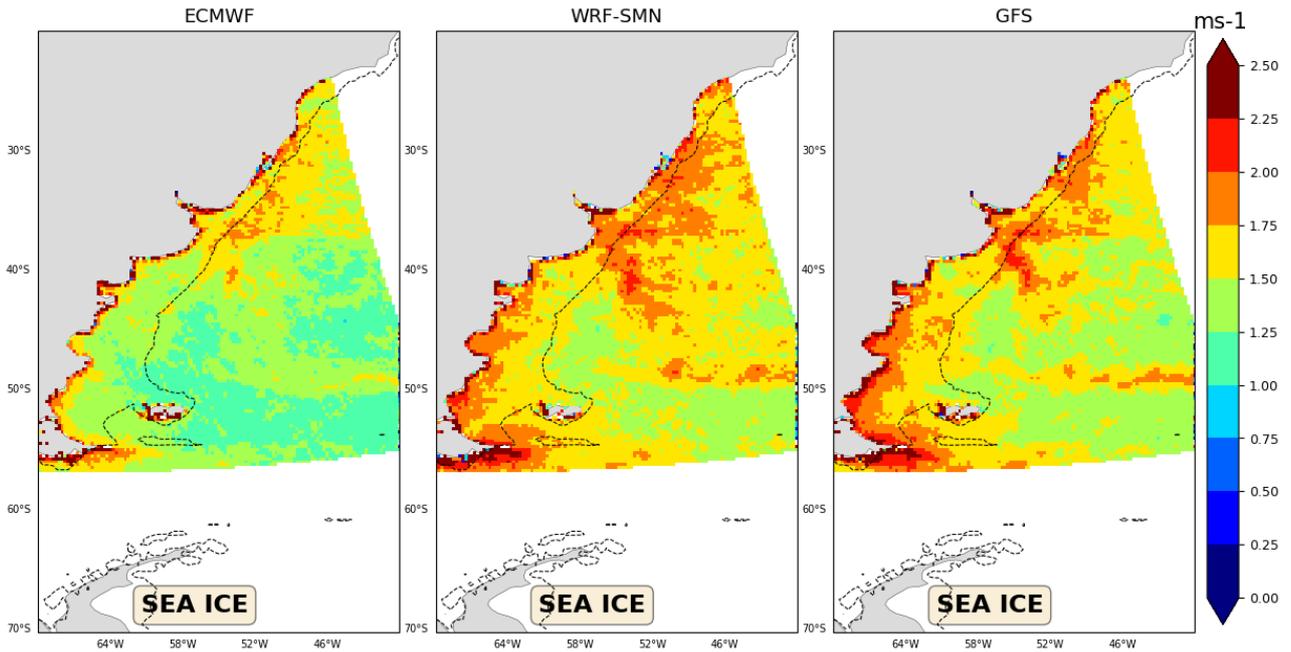
**Fig. 9a:** Campo espacial de Bias (ec 3.1) de altura significativa de la ola [m] para ECMWF-WAM (panel izquierdo), Austral-WW3 (panel central) y GFS-WW3 (panel derecho). El cómputo se ha realizado mediante el agrupamiento en bins de  $0.25^\circ$  de los matchups efectivos válidos de todos los satélites considerados en este trabajo (ver Tabla 1a). El dominio es el correspondiente al modelo regional Austral-WW3 y la línea negra punteada denota la isobata de 200 m.

La Figura 9a, muestra el bias de SWH y presenta un patrón más difuso que el de WS debido, en parte, a la menor disponibilidad de observaciones. Además, se observan matchups efectivos válidos asociados a las trazas de SARAL con un marcado bias negativo. Un estudio auxiliar (no se muestra) determinó que dicha característica se atribuye a fallas en la recuperación del sensor ALtiKa (ver Tabla 1a). Estas fallas no se han podido eliminar mediante el uso del flag de diferencias extremas, y por consiguiente, afectan a los resultados estadísticos de desempeño. Para minimizar el peso de estas trazas sobre los bins de agrupamiento, se redujo el tamaño de los mismo a  $0.125^\circ$  (Figura 9b) ya que es una resolución más acorde a la resolución espacial de los altímetros (ver Tabla 1a). La Figura 9b muestra que el pronóstico de SWH es hasta 0.5 m mayor al noreste del Pasaje Drake y sobre la Plataforma Patagónica respecto de la observación satelital. Mientras que al sur de Tierra del Fuego y sobre el Litoral Bonaerense la SWH satelital es mayor en hasta 0.5 m que la pronosticada. Los modelos presentan un patrón espacial similar con mayores contrastes de bias en el modelo Austral-WW3. El modelo GFS-WW3 presenta una menor cantidad de trazas anómalas que el resto, indicando que el flags de diferencias extremas pudo haber tenido un mayor éxito.

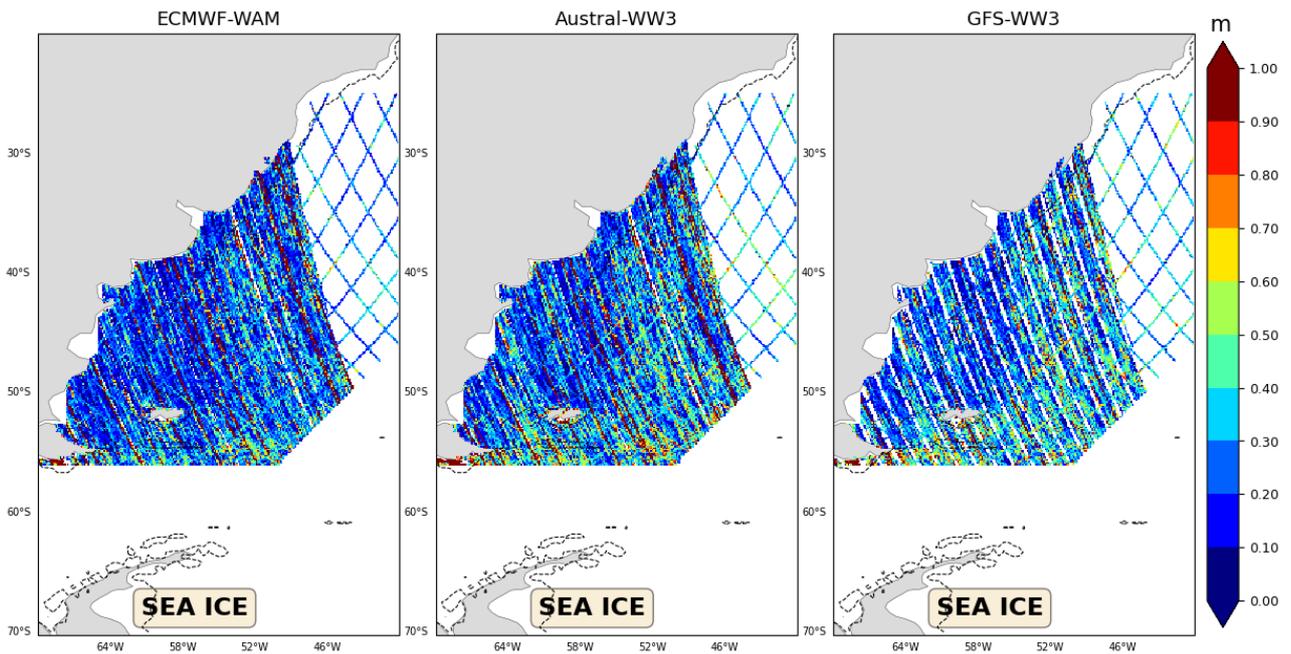


**Fig. 9b:** Campo espacial de Bias (ec. 3.1) de altura significativa de la ola [m] para ECMWF-WAM (panel izquierdo), Austral-WW3 (panel central) y GFS-WW3 (panel derecho). El cómputo se ha realizado mediante el agrupamiento en bins de  $0.125^\circ$  de los matchups efectivos válidos de todos los satélites considerados en este trabajo (ver Tabla 1a). El dominio es el correspondiente al modelo regional Austral-WW3 y la línea negra punteada denota la isobata de 200 m.

Las Figuras 10 y 11 muestran el RMSD (ec. 3.2) de los matchups efectivos válidos de WS y SWH, respectivamente. Se observa que las regiones con mayor error en la variabilidad del WS se encuentran sobre la plataforma continental, delimitada por la costa y la isobata de 200 m (línea punteada). Errores en el WS que exceden los 2 ms<sup>-1</sup> se encuentran sobre las costas de Tierra del Fuego y el norte de la Confluencia de Brasil-Malvinas. Particularmente, los pronósticos de los modelos WRF-SMN y GFS presentan un patrón de RMSD más intenso que el ECMWF. Los máximos de RMSD se encuentran en la región muy próxima a la costa mientras que los mínimos se localizan sobre el océano abierto hacia el sudeste de la región de estudio. En océano abierto, se observa un patrón espacial consistente e inverso entre las magnitudes de bias y RMSD. Mientras que sobre la plataforma continental y sectores costeros, a mayor bias, mayor el RMSD. Respecto del RMSD de SWH, los máximos se posicionan sobre el sur y sudeste de la región de estudio, casi en sintonía con la región en donde el WS presenta los valores mínimos de RMSD (ver Fig. 10). Sobre la plataforma continental, en cambio, se observan los mínimos de RMSD de SWH.



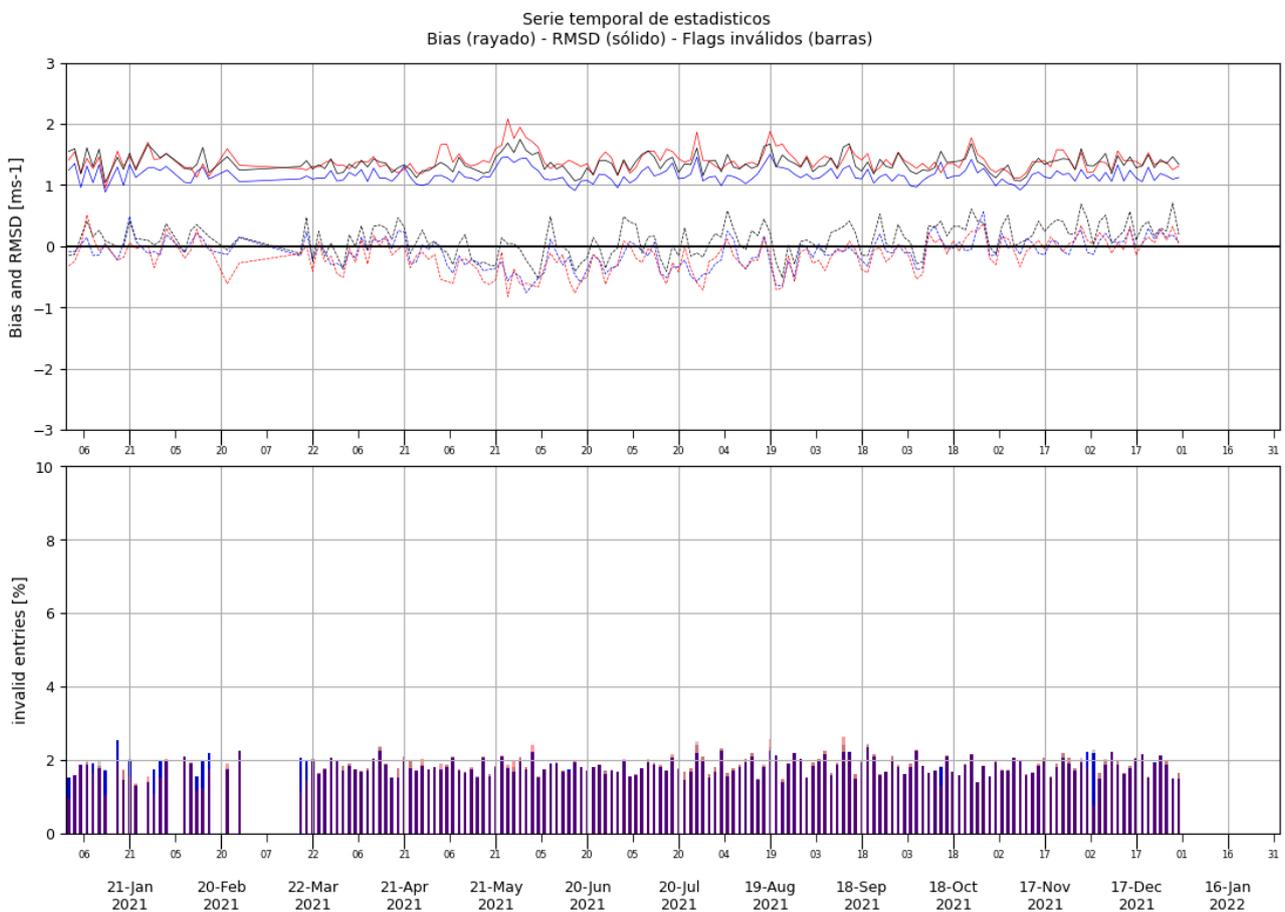
**Fig. 10:** Campo espacial de RMSD (ec. 3.2) de intensidad de viento [ $ms^{-1}$ ] para ECMWF (panel izquierdo), WRF-SMN (panel central) y GFS (panel derecho). El cómputo se ha realizado mediante el agrupamiento en bins de  $0.25^\circ$  de los matchups efectivos válidos de todos los satélites considerados en este trabajo (ver Tabla 1a). El dominio es el correspondiente al modelo regional WRF-SMN y la línea negra punteada denota la isobata de 200 m.



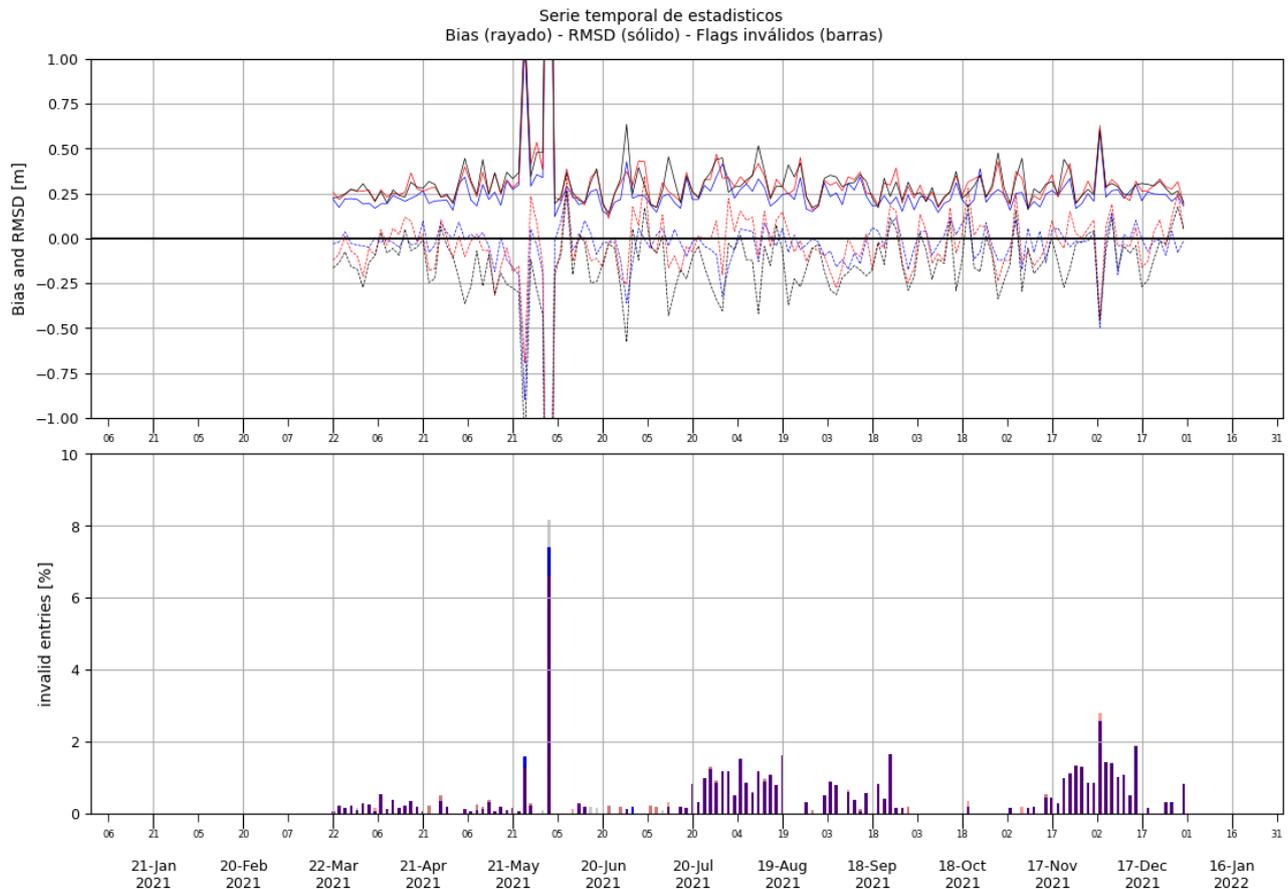
**Fig. 11:** Campo espacial de RMSD (ec. 3.2) de altura significativa de la ola [m] para ECMWF-WAM (panel izquierdo), Austral-WW3 (panel central) y GFS-WW3 (panel derecho). El cómputo se ha realizado mediante el agrupamiento en bins de  $0.125^\circ$  de los matchups efectivos válidos de todos los satélites considerados en este trabajo (ver Tabla 1a). El dominio es el correspondiente al modelo regional Austral-WW3 y la línea negra punteada denota la isobata de 200 m.

El panel superior de la Figura 12 muestra la variabilidad temporal del Bias (rayado) y del RMSD (sólido) para los matchups efectivos válidos entre WS satelital y los pronósticos de ECMWF (azul), WRF-SMN (rojo) y GFS (negro). Mientras que el panel inferior muestra en formato de barras la pérdida de matchups efectivos debido

al enmascaramiento por flags inválidos. De la misma forma, la Figura 13 lo hace para la SWH satelital y los pronósticos de ECMWF-WAM (azul), Austral-WW3 (rojo) y GFS-WW3 (negro). Para ambas variables el cómputo de los estadísticos se ha realizado sobre los dominios de WRF-SMN y de Austral-WW3 para el WS y la SWH, respectivamente. Las series temporales de los estadísticos se han promediado cada 48 hs para suavizar el ruido diario, particularmente en la SWH. Independientemente de la variable de estudio, se observa que el desempeño de los modelos es fluctuante, presentando períodos de mayores diferencias con las observaciones satelitales. Por ejemplo, entre el 21 de Mayo y el 5 de junio hay un aumento (disminución) notorio en el RMSD (bias) de WS, que coincide con una importante pérdida de información de SWH y un pobre desempeño de los pronósticos. Las fluctuaciones de los estadísticos es coherente en todos los modelos. Si sólo consideramos el RMSD se observa que ECMWF/ECMWF-WAM presentan el mejor desempeño, no así con el Bias. No se han explorado las causas que determinan este tipo de fluctuaciones.



**Fig. 12:** Variabilidad temporal del Bias (rayado) y del RMSD (sólido) para los matchups efectivos válidos (panel superior) entre WS satelital y los pronósticos de ECMWF (azul), WRF-SMN (rojo) y GFS (negro) y porcentaje de pérdidas de matchups efectivos (panel inferior). Las series temporales de los estadísticos se han promediado cada 48 hs.



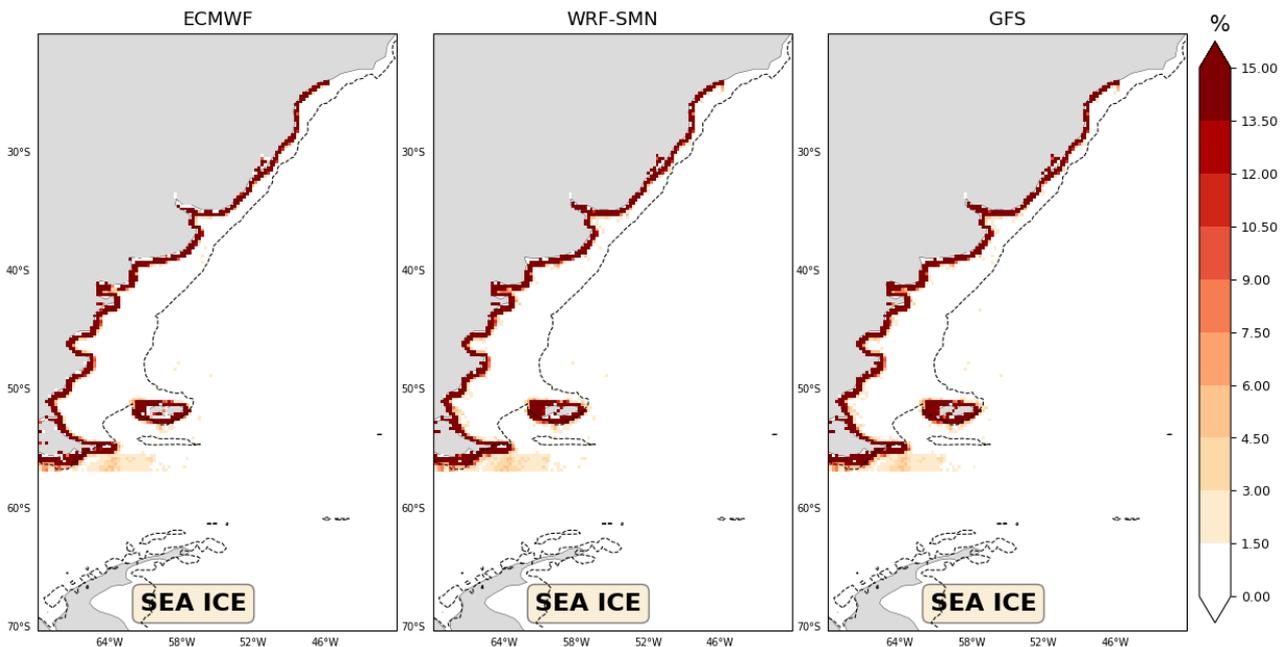
**Fig. 13:** Variabilidad temporal del Bias (rayado) y del RMSD (sólido) para los matchups efectivos válidos (panel superior) entre SWH satelital y los pronósticos de ECMWF-WAM (azul), Austral-WW3 (rojo) y GFS-WW3 (negro) y porcentaje de pérdidas de matchups efectivos (panel inferior).

La Tabla 4 sintetiza los estadísticos de desempeño regionales para los matchups efectivos válidos de WS computados en bins de  $0.25^\circ$  en el dominio de WRF-SMN y los de SWH en bins de  $0.125^\circ$  en el dominio de Austral-WW3 (ver Fig. 1). Se observa que los pronósticos de WS de ECMWF presentan una mejor correspondencia ( $NRMSE$ ) con el WS satelital, y el ECMWF-WAM con la SWH satelital ( $S$ ). La Tabla 4 muestra además, que para WS, existe una pérdida de información en torno al 4.0 - 4.5% de los matchups efectivos debido al enmascaramiento de flags inválidos. En el caso de la SWH, la pérdida de información presenta mayor variabilidad entre los modelos numéricos, con una diferencia de hasta 5% menor en GFS-WW3 que en el resto. Esta diferencia es atribuida principalmente a la utilización del flag por diferencias extremas (no se muestra).

**Tabla 4:** Comparación de estadísticos entre los distintos modelos numéricos. Se utilizó el NRMSE para los modelos atmosféricos y el SI para los oceánicos. Los estadísticos se han computado en bins de 0.25° para los matchups efectivos válidos de intensidad de viento y de 0.125° para los de altura significativa de la ola.

	<i>Bias</i>	<i>RMSD</i>	<i>NRMSE</i>	<i>SI</i>	<i>Pérdida</i>
WRF-SMN	-0.18 ms <sup>-1</sup>	1.62 ms <sup>-1</sup>	17.25 %	-	4.45 %
GFS	0.10 ms <sup>-1</sup>	1.58 ms <sup>-1</sup>	16.75 %	-	4.48 %
ECMWF	-0.11 ms <sup>-1</sup>	1.34 ms <sup>-1</sup>	14.25 %	-	4.07 %
Austral-WW3	-0.05 m	0.30 m	-	12.38 %	6.68 %
GFS-WW3	-0.12 m	0.29 m	-	12.62 %	2.11 %
ECMWF-WAM	-0.04 m	0.25 m	-	10.38 %	6.88 %

La Figura 14 complementa a las pérdidas regionales que se muestran en la Tabla 4 incorporando la distribución espacial (en %) de los matchups efectivos de WS. Se observa que la gran contribución a las pérdidas de matchups efectivos regionales provienen de las proximidades costeras con una tasa superior al 15% y del sur y sudeste de Tierra del Fuego con alrededor del 4%.

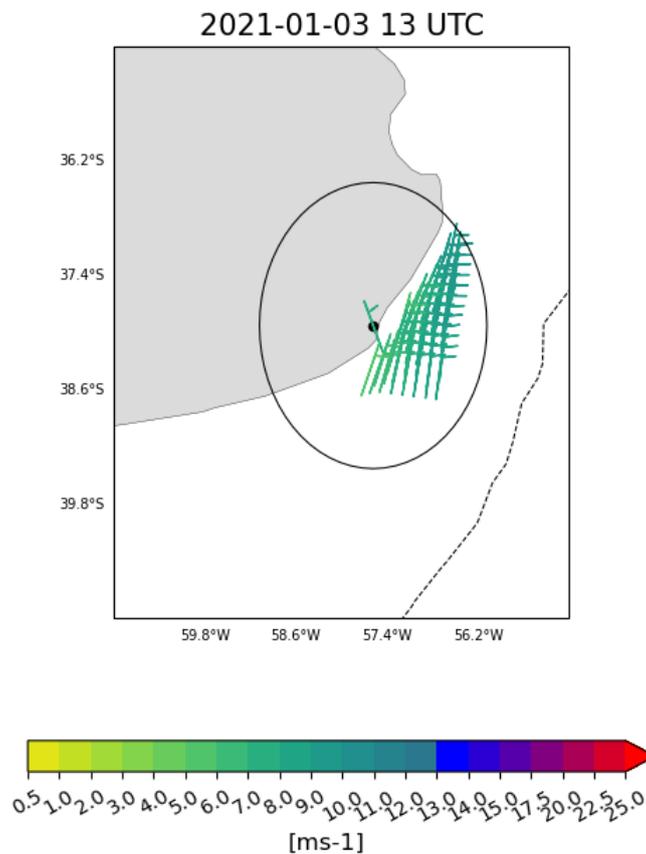


**Fig. 14:** Pérdida de matchups efectivos (%) de intensidad de viento mediante el enmascaramiento de flags inválidos para ECMWF (panel izquierdo), WRF-SMN (panel central) y GFS (panel derecho). El cómputo se ha realizado mediante el agrupamiento en bins de 0.25°. El dominio es el correspondiente al modelo regional WRF-SMN y la línea negra punteada denota la isobata de 200 m.

Con el fin de estudiar el desempeño de las observaciones satelitales de viento próximas a la costa, se diseñó una metodología que consiste en computar los matchups efectivos de intensidad de viento entre las observaciones satelitales y las observaciones terrestres ubicadas a menos de 25 km de distancia de la costa (ver Tabla 2). Previamente a computar el matchup de intensidad de viento,

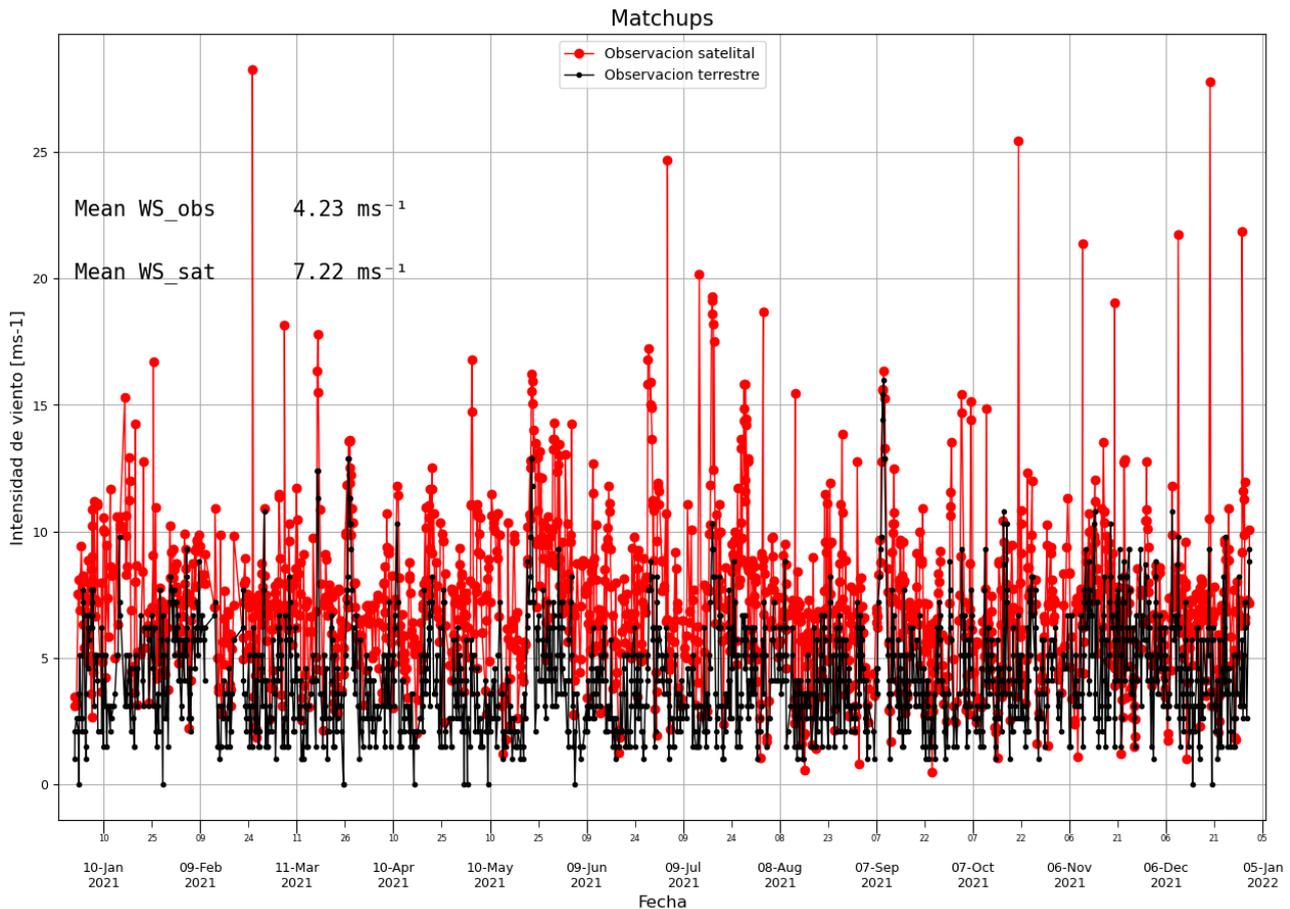
$$MATCHUPS(t^*) = WS_{SAT} - WS_{OBS}(4.1)$$

se toma un promedio espacial de las observaciones satelitales en un radio ( $R$ )  $\Delta\theta = 1.5^\circ$  alrededor de la ubicación de la estación meteorológica costera,  $WS_{SAT} = \sum_R^{\Delta\theta} WS_{SAT}(t^*, \theta)$ , con  $t^*$  el tiempo (en horas) en el cual coinciden con la observación terrestre,  $WS_{OBS}$ . Nótese que el aumento de las observaciones satelitales es directamente proporcional a  $\Delta\theta$ . Sin embargo, el aumento desmedido de  $\Delta\theta$  incide negativamente en los estadísticos de desempeño. La Figura 15 muestra la dirección e intensidad de viento terrestre en la estación de Mar del Plata y los vientos observados por el satélite Ascat-B en un entorno de radio  $1.5^\circ$  alrededor de la locación de dicha estación (trazo oscuro) para el día 2021-01-03 13 UTC. Para dicha fecha, se observa poca variación entre la intensidad de viento terrestre y el satelital. Y si bien, la metodología detallada en 4.1 es para intensidad de viento, se observa una diferencia en dirección de mayor notoriedad, siendo el viento terrestre tiene una dirección del cuadrante noroeste, mientras que el satelital del noreste.



**Fig. 15:** Observación de dirección e intensidad de viento terrestre en la estación de Mar del Plata (ver Tabla 2) y observaciones satelitales de Ascat-B en torno a un radio de  $1.5^\circ$  (trazo oscuro) para el día 2021-01-03 13 UTC.

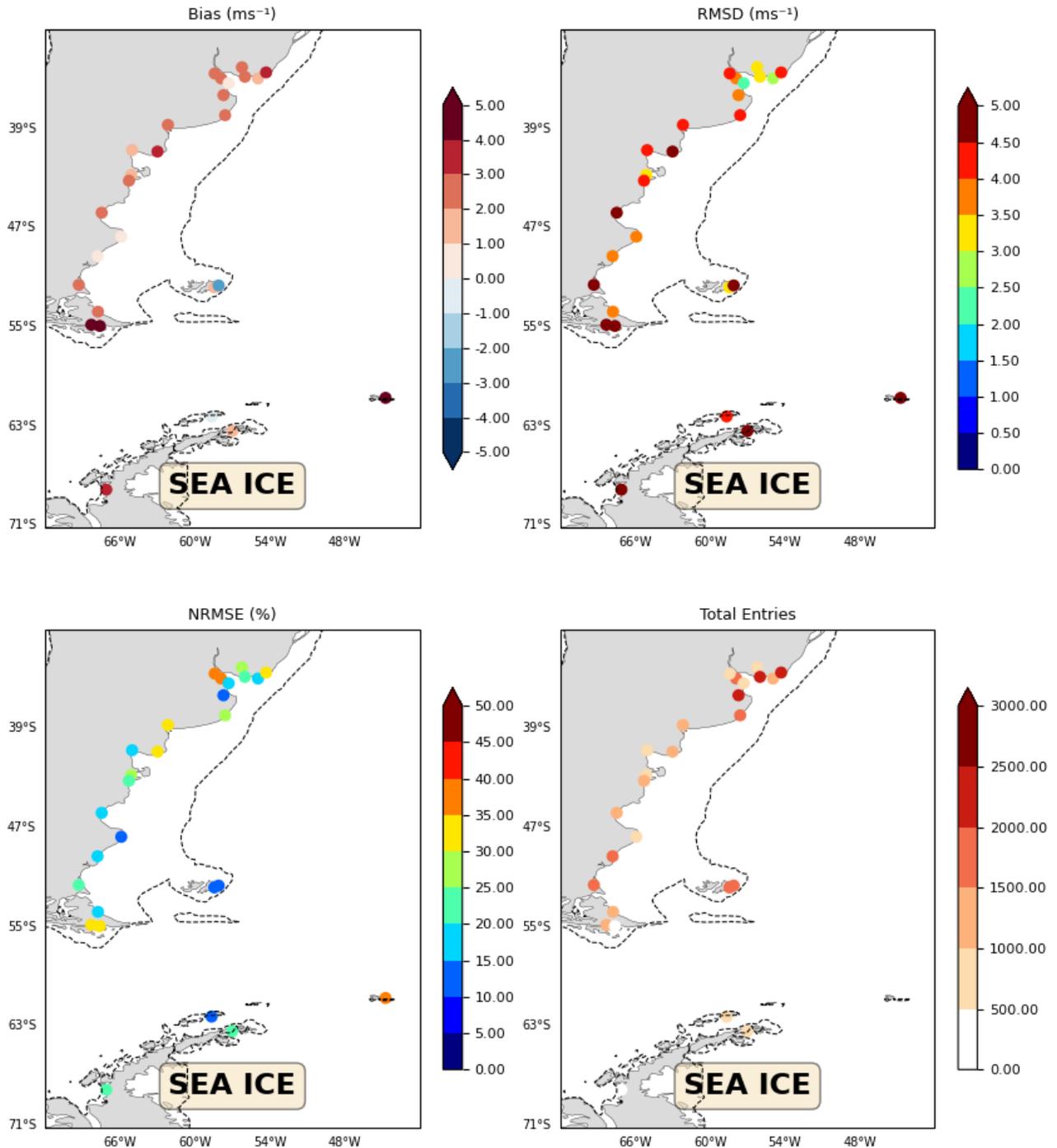
La Figura 16 muestra los matchups de intensidad de viento computados mediante la ecuación 4.1 utilizando toda la información satelital disponible (ver Tabla 1.a) durante todo el año 2021 en la ubicación de la estación meteorológica de Mar del Plata. Nótese, cómo para dicha región la intensidad de viento satelital tiende a ser notablemente mayor que la del viento terrestre en hasta  $3 \text{ ms}^{-1}$ .



**Fig. 16:** Matchups (ec 4.1) de intensidad de viento satelital (trazo rojo) y terrestre (trazo negro) en la ubicación de la estación meteorológica de Mar del Plata durante el año 2021. En texto se indica el valor medio de intensidad de viento para las observaciones en la estación meteorológica (WS\_obs) y para las observaciones obtenidas satelitalmente (WS\_sat).

La Figura 17 muestra los estadísticos de desempeño (ecs 3.1 - 3.3) de los matchups efectivos (ec. 4.1) entre las observaciones terrestres y satelitales. Con excepción de la Base Carlini y el Monte Kent (ver Tabla 2), las observaciones terrestres, independientemente de su ubicación, resultan menores en más de  $2 \text{ ms}^{-1}$  a las observaciones satelitales de intensidad de viento (Bias, panel superior izquierdo). Asimismo, la mayor variabilidad del error se observa sobre la costa de la Plataforma Patagónica y sobre la Península Antártica (RMSD, panel superior derecho) con valores que superan los  $3 \text{ ms}^{-1}$ . No obstante, el peso del error (NRMSE, panel inferior izquierdo) entre la comparación terrestre y satelital es menor, dado que la región presenta los máximos regionales de intensidad de viento (ver Fig. 2). Se observa que el número de matchups efectivos válidos utilizados para computar las estadísticas de desempeño (Total Entries, panel inferior derecho) fue mayor sobre el norte de la región de estudio con más de 2500, que es en promedio un matchups cada 3.5 horas. En particular, la mayor frecuencia de observaciones en dicha región es producto de las recuperaciones de CYGNSS (ver Tabla 1.a).

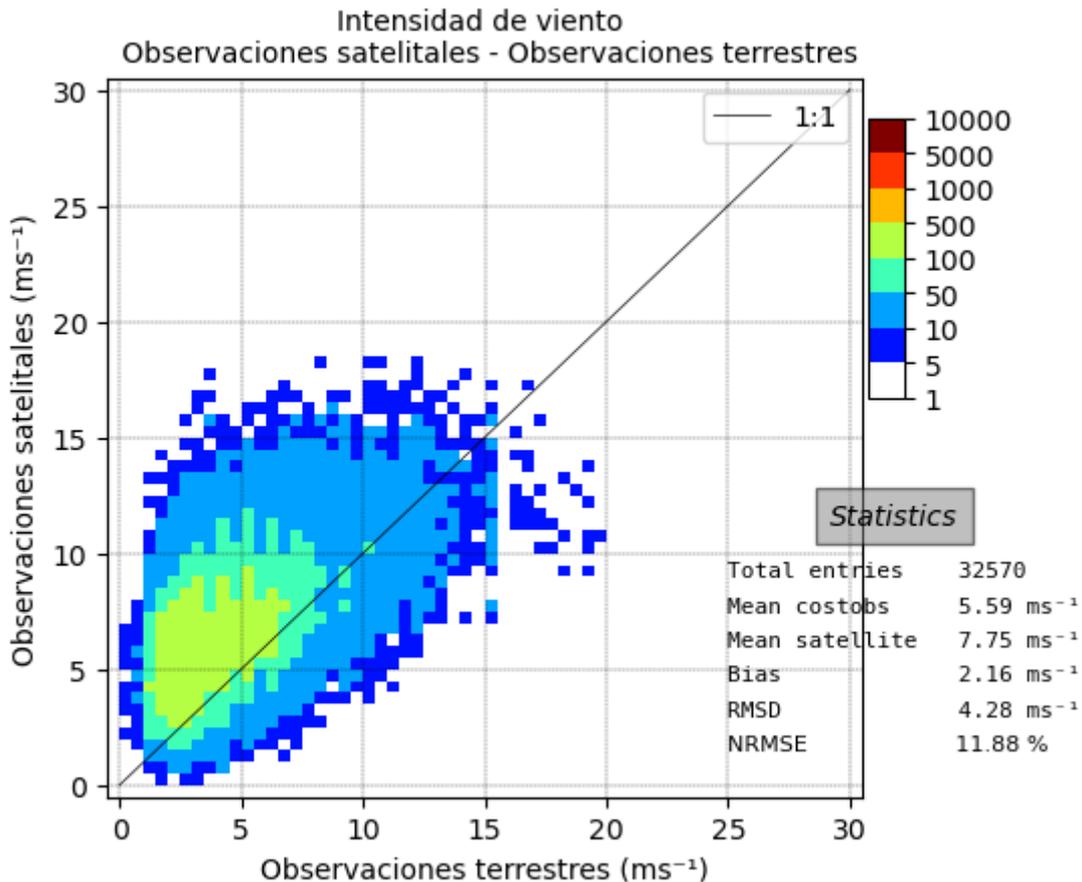
Intensidad de viento  
Observaciones satelitales - Observaciones terrestres



**Fig. 17:** Campo espacial de bias (ec. 3.1, superior izquierda), RMSD (ec. 3.2, superior derecha), NRMSE (ec. 3.3, inferior izquierda) y cantidad de matchups efectivos (inferior derecha) de intensidad de viento entre las observaciones terrestres y las observaciones satelitales. El cómputo de los matchups efectivos se ha realizado permitiendo una distancia de compromiso de hasta  $1.5^\circ$  entre la localización de la observación terrestre y la observación de todos los satélites considerados en este trabajo (ver Tabla 1a). La línea negra punteada denota la isobata de 200 m.

Finalmente, la Figura 18 muestra un histograma regional entre los matchups de intensidad de viento terrestre y satelital. En este caso, se considera el conjunto de todos los matchups efectivos válidos,

independientemente de su localización. Particularmente, la intensidad del viento terrestre ( $mean\ costobs = 5.59\ ms^{-1}$ ) es inferior a la satelital ( $mean\ satellite = 7.75\ ms^{-1}$ ), siendo el bias de  $2.16\ ms^{-1}$ . Particularmente, el error entre ambos ( $RMSD = 4.28\ ms^{-1}$ ) es comparable con la intensidad de viento terrestre. Este resultado nos sugiere una dinámica de la circulación marítima costera distinta a la terrestre.



**Fig. 18** Histograma regional de matchups efectivos (inferior derecha) de intensidad de viento entre todas las observaciones terrestres (eje de las abscisas) y las observaciones satelitales (eje de las ordenadas). El cómputo de los matchups efectivos se ha realizado permitiendo una distancia de compromiso de hasta  $1.5^\circ$  entre la localización de la observación terrestre y la observación de todos los satélites considerados en este trabajo (ver Tabla 1a).

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se propuso una metodología para comparar y verificar pronósticos oceánicos con observaciones satelitales en tiempo cercano al real. Se utiliza una interpolación entre pronósticos y observaciones (matchups) y se establece una ventana de verificación de  $\pm 2$  horas para aumentar hasta un 25% los matchups potenciales, permitiendo un análisis estadístico más robusto. Aunque existen diferencias en el número de observaciones de intensidad de viento y altura significativa de las olas debido a los sensores disponibles, se observa una mayor concentración de potenciales matchups en el sur de la región. Este resultado debería considerarse a la hora de diseñar la retícula de los modelos numéricos oceánicos para permitir una mejor retroalimentación entre la observación satelital y el modelo numérico. Más aún a sabiendas que en los próximos años se espera un considerable aumento de la información de olas por la incorporación de interferómetros polares de amplio barrido.

Con la metodología diseñada se computaron distintos estadísticos de desempeño de los pronósticos de intensidad de viento y de altura significativa de la ola que provee el SMN a través de los modelos regionales WRF-SMN y Austral-WW3. Para tener una visión comparativa del desempeño estadístico de dichos modelos se incorporaron los modelos globales ECMWF y GFS, en su versión atmosférica, y ECMWF-WAM y GFS-WW3 en su versión oceánica. En todos los casos, los pronósticos a verificar corresponden al ciclo determinístico de las 00Z con un plazo de 12 hs sobre el Mar Argentino y el océano adyacente durante el año 2021. Los resultados indican que los pronósticos del ECMWF son los que presentan el mejor desempeño en la región, o al menos se condice mejor con las observaciones satelitales.

Se observó que el número de flags inválidos aumenta cerca de la costa, siendo la pérdida de matchups efectivos superior al 15%. Para determinar si esta característica limita la utilización de la observación satelital cerca de la costa, se exploró la misma contra observaciones terrestres. Los resultados indican que el principal error proviene de los valores medios (bias), siendo las observaciones satelitales más intensas. Además, la variabilidad temporal del error (RMSD) sugiere una dinámica entre el viento costero y terrestre de mayor complejidad. Aunque no se descarta que exista una baja calidad de las observaciones satelitales cerca de la costa.

La metodología presenta algunas limitaciones, como la falta de consideración de la dirección del viento y la distinción de los distintos componentes del espectro de frecuencias de la ola. Estas limitaciones pueden causar diferencias en la distribución espacial de los estadísticos de desempeño de altura significativa de ola que no se deben sólo a diferencias en la velocidad del viento. Además, no se ha buscado una completa explicación en la variabilidad temporal que presentan los estadísticos de desempeño en la región.

Se sugiere que esta metodología sea utilizada como referencia en la cuantificación periódica del desempeño de los modelos numéricos oceánicos. También se anima a su aplicación en otras variables, como la anomalía del nivel del mar, en diferentes inicializaciones y plazos, así como en pronósticos de tipo ensamble. Se espera que tenga un uso operativo en el marco del proyecto PronoMAR.

## LINKS DE INTERÉS

La documentación del código desarrollado para realizar la descarga y el post-procesamiento de la información satelital se encuentra en <https://gitlab.smn.gov.ar/mdeoto/sateliteoceanonrt>, mientras que el código de comparación/verificación en <https://git.cima.fcen.uba.ar/matias.deoto/verificacion-marina>.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias al Servicio de Hidrografía Naval (SHN) por proveer la información del modelo de olas Austral-WW3, también al repositorio activo PODAAC por proveer los datos satelitales y al ECMWF que habilitó de forma no arancelada la información del modelo IFS.

## REFERENCIAS

Ardhuin, F., Aksenov, Y., Benetazzo, A., Bertino, L. y otros, 2019: Measuring currents, ice drift, and waves from space: the Sea surface Kinematics Multiscale monitoring (SKIM) concept, *Ocean Sci.*, 14, 337–354

De Oto, M., Y. García Skabar y L. Vidal, 2022: Sobre el estado del arte en el sensoramiento satelital utilizado para el monitoreo de variables meteorológicas sobre la superficie oceánica. Nota Técnica SMN 2022-128.

Dillon, M. E., C. Matsudo, Y. García Skabar, M. Sacco, 2020: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Configuración de los pronósticos determinísticos. Nota Técnica SMN 2020-78.

Etala, P., S. Alonso, D. Souto, C. Romero y P. Echevarría, 2014: Progreso en el modelo de pronóstico de olas hasta un mosaico global multiescala. *Meteorológica* Vol. 39, No. 2, 37-48.

Organización Meteorológica Mundial, 2018: Guía de servicios meteorológicos marinos. OMM- N° 471 (2018), Ginebra.

Organización Meteorológica Mundial, 2018: Guía para el análisis y pronóstico de las olas. OMM- N° 702 (2018), Ginebra.

Passaro M, Hemer MA, Quartly GD, Schwatke C, Dettmering D, Seitz F, 2021: Global coastal attenuation of wind-waves observed with radar altimetry. *Nat Commun* 12(1), 3812.

Tang, W., 2004: Validation of QuikSCAT wind products in coastal areas using coastal buoys. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21(5), 689-703.

## Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía ([rdelia@smn.gov.ar](mailto:rdelia@smn.gov.ar)), Luciano Vidal ([lvidal@smn.gov.ar](mailto:lvidal@smn.gov.ar)) o Martin Rugna ([mrugna@smn.gov.ar](mailto:mrugna@smn.gov.ar)) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo ([macevedo@smn.gov.ar](mailto:macevedo@smn.gov.ar)).