

# Evaluación de productos del ECMWF para extremos de temperatura durante un evento de ola de calor en Argentina

Nota Técnica SMN 2025-197

**Lucía M. Castro<sup>1</sup>, Alejandro A. Godoy<sup>2</sup>, Marisol Osman<sup>3,4</sup> y Pablo Spennemann<sup>5,6,7</sup>**

<sup>1</sup> Investigadora independiente

<sup>2</sup> Dirección Nacional de Pronósticos y Servicios para la Sociedad, Servicio Meteorológico Nacional

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera

<sup>4</sup> Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos

<sup>5</sup> Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, Servicio Meteorológico Nacional

<sup>6</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>7</sup> Universidad nacional de Tres de Febrero

Junio 2025



**Ministerio  
de Defensa**  
República Argentina

### *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

En la segunda mitad de enero 2024, la permanencia de un centro de alta presión cuasiestacionario sobre el Atlántico sur produjo el desarrollo de una ola de calor. Comenzó en el sur del país y se extendió gradualmente hacia el norte y noreste, causando altas temperaturas máximas y mínimas persistentes. Se documenta el desempeño de los pronósticos subestacionales de los índices EFI y SOT del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF, por sus siglas en inglés). Los pronósticos de dos tipos de modelos con plazos de dos y tres semanas se comparan con las observaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Se encuentra que ambos tipos de pronósticos demuestran capacidades para predecir el inicio de la ola de calor con dos semanas de anticipación, e informar de su severidad con una semana de anticipación, con diferencias regionales en Cuyo y Patagonia. En consecuencia, ambos modelos deberían ser usados en conjunto, no solamente por sus distintos plazos de pronóstico, sino también por la diferencia de desempeño entre regiones.

## Abstract

In the second half of January 2024 the establishment of a high-pressure center over the South Atlantic, with very slow movement and its associated circulation, led to the development of a heat wave between January 21 and February 12, 2024. It began in the south of the country and gradually spread northward and northeastward, causing persistently high maximum and minimum temperatures. It is documented the performance of subseasonal forecasts of EFI and SOT from the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Two types of forecasting models are compared against observations from the National Meteorological Service (SMN). It is found that both types of forecasts are able to predict the start of the heat wave with a lead of two weeks, and notify its severity a week before the event, with regional differences in Cuyo and Patagonia. Hence, both models should be employed together, not just for different lead times, but for their distinct performance between regions.

**Palabras clave:** Ola de calor, predictibilidad, ECMWF

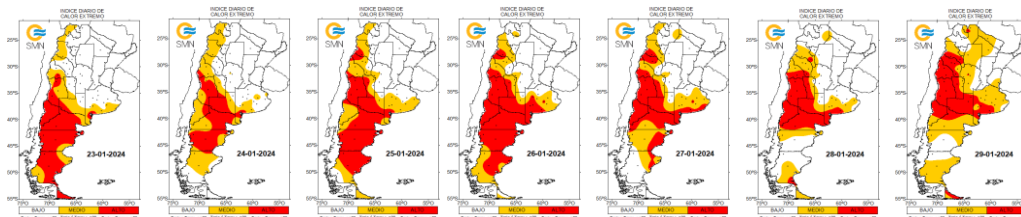
## Citar como:

Castro, L. M., Godoy, A., Osman M., Spennemann P., 2025: Evaluación de productos de ECMWF para extremos de temperatura durante un evento de ola de calor en Argentina. Nota Técnica SMN 2025-197.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la segunda mitad de Enero 2024 se desarrolló una intensa ola de calor en el centro de Argentina ([informe especial N°4](#)). La permanencia de un centro de alta presión sobre el Atlántico sur, cuasiestacionario, y su circulación asociada, produjo el desarrollo de una ola de calor entre el 21 de enero y el 12 de febrero de 2024. Comenzó en el sur del país y se extendió gradualmente hacia el norte y noreste, causando altas temperaturas máximas y mínimas persistentes. Múltiples estaciones rompieron su récord anterior de temperatura diaria máxima más alta durante el periodo de dicha ola de calor. La evolución del índice de calor extremo durante la primera semana del evento, desde el 23 al 29 de enero de 2024, se presenta en la Figura 1. Las zonas rojas indican regiones donde se cumple la condición de calor extremo (temperatura máxima y mínima por encima de los umbrales de ola de calor), las zonas naranjas indican regiones donde se cumple al menos una de las condiciones, y las zonas blancas donde ninguna condición se satisface. En las locaciones donde el índice de calor extremo persiste por más de tres días, se considera una ola de calor. Se considera estos días ya que coinciden con el pronóstico operativo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que se realiza con dos semanas de antelación.

El objetivo del presente trabajo es documentar el desempeño de los pronósticos subestacionales del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF, por sus siglas en inglés) para la ola de calor en enero de 2024, comparándolos con las observaciones, siguiendo los trabajos de [Domeisen y otros \(2022\)](#), y [Hewson y Chevalier \(2024\)](#). En particular, se hace foco en analizar los índices de monitoreo para eventos extremos caracterizados por [Tsonevsky y otros \(2018\)](#) creados para facilitar la advertencia temprana en el rango medio. Este trabajo se enmarca en el proyecto colaborativo entre el ECMWF y el SMN para evaluar la calidad del pronóstico y el uso de los productos ofrecidos en nuestra región.



**Fig. 1:** Mapas diarios de Índice de calor extremo interpolado de observaciones del Servicio Meteorológico Nacional entre el 23 al 29 de enero de 2024. Adaptado del informe especial N°4 por ola de calor de Jose Luis Stella (2024).

## 2. DATOS

Se utilizan los pronósticos operativos del ECMWF para rango medio (*medium range ENS*), donde se pronostican los siguientes 1 a 15 días, y los pronósticos extendidos (*extended range EXT*), que pronostican los siguientes 1 a 46 días luego de la inicialización del modelo. En particular, se hace foco en los primeros 21 días de predicción al no observarse señal del evento con más de 3 semanas de antelación.

Ambos modelos comparten el mismo núcleo físico del Integrated Forecast System (IFS) del cycle 48r1, operativo desde junio de 2023 ([confluence.ecmwf.int/Cycle48r1](https://confluence.ecmwf.int/Cycle48r1)). A su vez, los dos modelos son actualizados

diariamente, el EXT a las 00Z, mientras que el ENS a las 00Z, 06Z, 12Z y 18Z; y tienen la misma cantidad de niveles verticales (137). Los modelos se diferencian en su escala horizontal, 9 km en ENS y 36 km en EXT, el plazo de pronóstico y la cantidad de miembros en el ensamble. Estos pronósticos están compuestos por 50 miembros perturbados y un control en el caso de ENS, y por 100 miembros perturbados y un control en caso del EXT.

Sumado a esto, estos modelos tienen sus correspondientes pronósticos retrospectivos o hindcasts que consisten en 20 años de pronósticos pasados para poder obtener climatologías de los modelos, métricas de verificación, entre otros productos ([confluence.ecmwf.int/M-climate](https://confluence.ecmwf.int/M-climate)). Por su gran costo computacional, estos pronósticos se realizan con un ensamble reducido en días específicos del mes, como lo indica la Tabla I.

La climatología obtenida de cada modelo se denomina M-CLIMATE para ENS y SUBS-M-CLIMATE para EXT. En concreto, M-CLIMATE utiliza un conjunto de pronósticos de los últimos 20 años abarcando 9 fechas de inicio consecutivas, siendo la fecha intermedia la más cercana a la fecha de ejecución del ensamble. Por otra parte, SUBS-M-CLIMATE utiliza solo 3 fechas consecutivas para los valores retrospectivos. Esta diferencia en los periodos de referencia se explica por las diferentes características a resaltar. En plazos cortos, como el de ENS, la prioridad es capturar la distribución de los extremos, por eso usa más pronósticos. En cambio, en periodos largos se busca representar correctamente los ciclos estacionales, por lo tanto SUBS-M-CLIMATE puede utilizar menos fechas para su promedio.

**Tabla I:** Características principales de los modelos de rango medio y extendido de ECMWF para el ciclo 48r1, y de sus correspondientes pronósticos retrospectivos.

| Modelo              | ENS OPER                     | EXT OPER                   | ENS HINDCAST              | EXT HINDCAST              |
|---------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Resolución          | O1280<br>~9 km               | O320<br>~36 km             | O1280<br>~9 km            | O320<br>~36 km            |
| Ejecución           | diaria (00Z, 06Z, 12Z y 18Z) | diaria (00Z)               | lunes/jueves (00Z)        | lunes/jueves (00Z)        |
| Plazo de pronóstico | 1-15 días                    | 1-46 días                  | 1-15 días                 | 1-46 días                 |
| Miembros            | 50 perturbados +1 control    | 100 perturbados +1 control | 10 perturbados +1 control | 10 perturbados +1 control |

En este trabajo la resolución original de ambos modelos fue interpolada a una retícula común de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ . Para la verificación se utilizaron las estaciones del SMN que cumplieron el criterio de ola de calor durante el periodo de estudio. En particular, el día de inicio y el día final de la ola de calor, su duración en cada estación y las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas absolutas.

**Tabla II:** Estaciones del Servicio Meteorológico Nacional que cumplieron el criterio de ola de calor durante al menos 3 días durante la semana del 23 al 29 de enero 2024. Se indica el umbral de temperatura máxima y mínima a superar y cuáles fueron los valores promedio de las mismas en esas fechas.

| Estación | TMAX<br>umbral de<br>ola de calor | TMIN umbral<br>de ola de<br>calor | Comienzo   | Fin        | TMAX<br>promedio | TMIN<br>promedio |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|------------|------------------|------------------|
| 87217    | 38.7                              | 23.5                              | 2024-01-29 | 2024-02-03 | 42.55            | 28.4             |
| 87222    | 37.6                              | 24.5                              | 2024-01-28 | 2024-02-05 | 39.89            | 28.9             |
| 87311    | 37.4                              | 21.3                              | 2024-01-26 | 2024-02-02 | 40.56            | 29.6             |
| 87418    | 35.0                              | 20.6                              | 2024-01-25 | 2024-02-02 | 38.42            | 25.7             |
| 87436    | 34.2                              | 20.3                              | 2024-01-25 | 2024-02-02 | 38.29            | 26.5             |
| 87506    | 30.6                              | 13.1                              | 2024-01-25 | 2024-02-03 | 34.46            | 20.6             |
| 87509    | 34.0                              | 17.3                              | 2024-01-24 | 2024-02-02 | 37.27            | 22.1             |
| 87623    | 34.5                              | 18.6                              | 2024-01-29 | 2024-02-02 | 40.24            | 25.8             |
| 87637    | 31.8                              | 16.6                              | 2024-01-29 | 2024-02-02 | 36.46            | 19.7             |
| 87688    | 32.5                              | 17.8                              | 2024-01-26 | 2024-01-30 | 35.34            | 20.7             |
| 87715    | 34.4                              | 17.6                              | 2024-01-26 | 2024-01-29 | 38.27            | 23.8             |
| 87750    | 34.2                              | 19.0                              | 2024-01-23 | 2024-02-01 | 37.80            | 23.9             |
| 87765    | 26.6                              | 10.1                              | 2024-01-26 | 2024-01-28 | 28.07            | 14.3             |
| 87803    | 25.7                              | 10.5                              | 2024-01-23 | 2024-01-26 | 29.68            | 16.4             |
| 87828    | 32.8                              | 16.3                              | 2024-01-25 | 2024-01-27 | 35.43            | 23.0             |
| 87860    | 29.5                              | 16.0                              | 2024-01-24 | 2024-01-27 | 33.23            | 21.9             |

### 3. METODOLOGÍA

En la siguiente sección se presenta el cálculo de los índices de tiempo extremo elegidos: EFI y SOT.

#### 3.1 Índice de pronóstico extremo (EFI)

El índice de pronóstico extremo (EFI, por sus siglas en inglés) es un producto generado por el ECMWF como guía para identificar eventos meteorológicos anormales, extremos o severos (temperaturas altas, precipitaciones intensas, rafagas de viento, entre otros). Indica la diferencia entre el pronóstico y la climatología del modelo, M-CLIMATE.

$$EFI = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \left( \frac{p - F_f(p)}{\sqrt{p(1-p)}} \right) dp \quad (\text{Ec. 1})$$

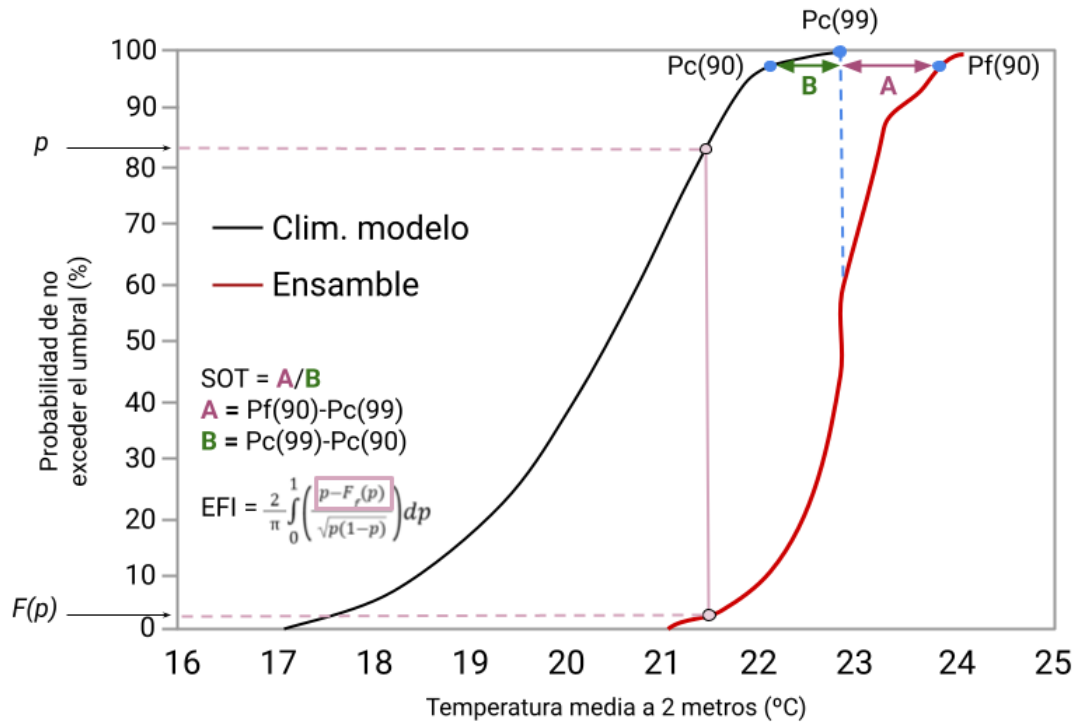
El EFI se obtiene como la integral entre la diferencia entre la probabilidad acumulada del M-CLIMATE y el la media del ensamble (ENS). El denominador le atribuye más peso a los extremos con el valor cuadrático de la probabilidad climatológica (Ecuación 1).

Se asume que si un pronóstico es anómalo o extremo respecto a su M-CLIMATE, es probable que el tiempo meteorológico también sea anómalo o extremo respecto a su climatología real. Utilizar probabilidades simples derivadas del ensamble, como que la probabilidad de que la temperatura supere 32°C, no demuestra las diferencias en la distribución del conjunto. En cambio, el EFI si puede dar cuenta de estas diferencias al utilizar la distribución de todos los miembros del ensamble (Ver Fig. 2). El EFI toma valores entre 1 y -1 donde los valores entre 0.5 y 0.8, sin importar el signo, indican tiempo meteorológico inusual probable; y valores por encima de 0.8 indican tiempo extremo probable.

### 3.2 SOT

El desplazamiento de las colas de distribución (SOT, por sus siglas en inglés) se crea para complementar la información brindada por el EFI, ya que este no puede indicar la severidad de un evento extremo. Como EFI tiene un límite superior de 1, si el ensamble pronostica valores que superan los extremos de la climatología, tanto superiores o inferiores, esta métrica no es capaz de incorporar esta información (Ver Fig. 2). Por eso, SOT compara las colas de distribución entre M-CLIMATE y ensamble basados en los percentiles 90 y 99 para el límite superior (Ecuación 2), y en los percentiles 1 y 10 para el límite inferior. Los valores positivos de SOT indican que al menos 10% del ensamble pronostica un evento extremo; cuanto mayor sea SOT más extremo ese 10%. Este trabajo utiliza el SOT correspondiente al percentil 90 para estudiar extremos cálidos de temperatura.

$$SOT = \frac{P_f(90) - P_c(90)}{P_c(99) - P_c(90)} \quad (\text{Ec. 2})$$



**Fig. 2:** Ejemplo gráfico del cálculo de EFI y SOT para la probabilidad de no exceder el umbral para de temperatura media a 2 metros. La línea negra es la probabilidad acumulada para la climatología del modelo, y la línea roja del ensamble de pronósticos. Adaptado de Tsonevsky y otros (2018).

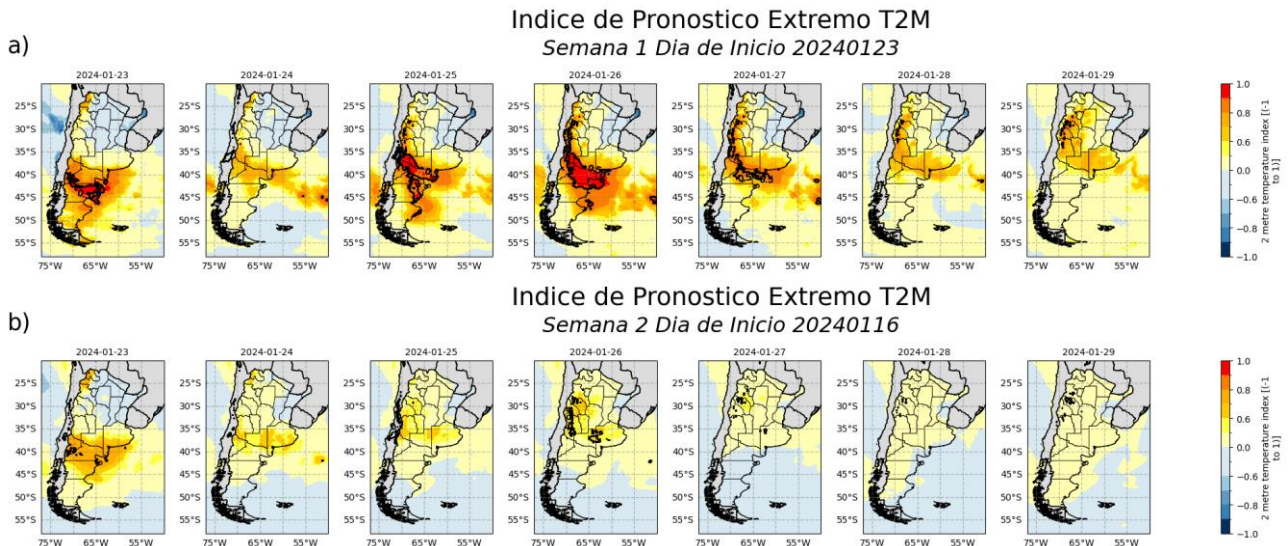
## 4. RESULTADOS

A continuación se detallan los resultados obtenidos para cada modelo del ECMWF.

### 4.1 Rango medio

Analizando la evolución de los pronósticos diarios de EFI (Fig. 3 a y b), puede observarse que, con un plazo de dos semanas, los valores positivos se concentraron en el centro y sur de Argentina durante los primeros días de la semana objetivo. Hacia el final de la semana, estos valores se desplazaron lentamente hacia el norte mientras decrecieron en magnitud. Similarmente, pronósticos inicializados una semana antes del evento (Fig. 3a) muestran el EFI de temperatura por encima de 0.7 en el sur de Argentina durante el primer día de la semana, los cuales se trasladaron hacia el norte para el último día de esta. Este patrón de altos valores de EFI coincide con las estaciones que reportaron un índice de calor extremo alto (Fig. 1) durante la semana objetivo. Este resultado sugiere que el pronóstico por ensamble fue capaz de predecir el movimiento de la masa de aire aun con dos semanas de anterioridad, aunque excluyendo la Patagonia. En la inicialización a una semana (Fig. 3a), las áreas con SOT mayores a 0.5 son mayores en los días 25 y 26 de enero y, en menor medida, el día 23 de enero en el centro/sur de Argentina, pero prácticamente desaparecen el resto de la semana. Por otra parte, en la inicialización a dos semanas (Fig. 3b) no hay áreas con SOT mayor a 0.5.

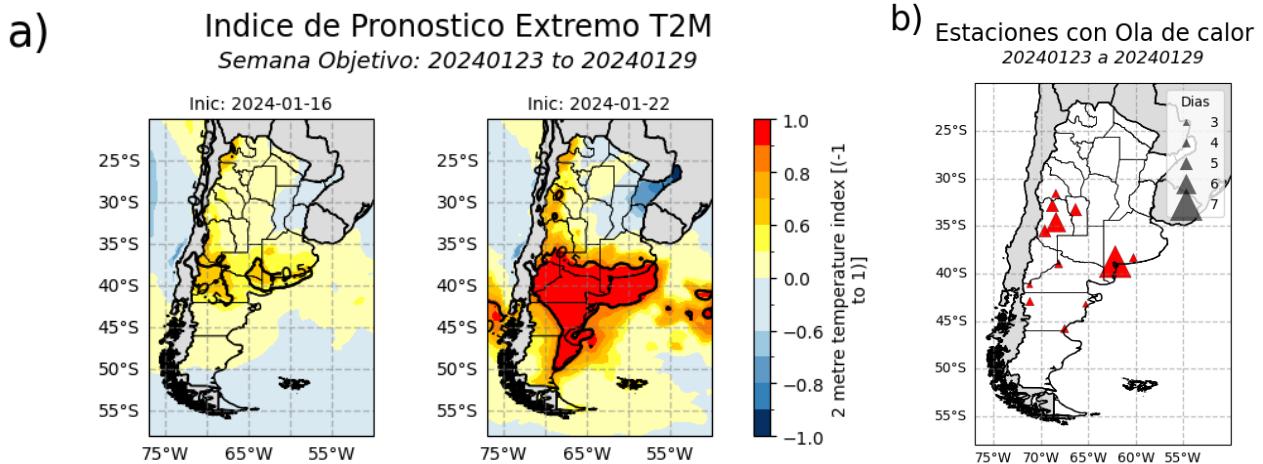
Por lo tanto, aunque los valores de EFI fueran positivos, indicando temperaturas inusuales, en la mayoría de los días el modelo ENS no pronosticaba un evento extremo por fuera de la climatología.



**Fig. 3:** Pronósticos diarios de EFI y SOT realizados una semana antes de la semana objetivo (a) y dos semanas antes (b) con el modelo de rango medio ENS. Los colores indican la intensidad y signo de EFI mientras que los contornos encierran áreas con SOT del P90 mayor o igual a 0.5.

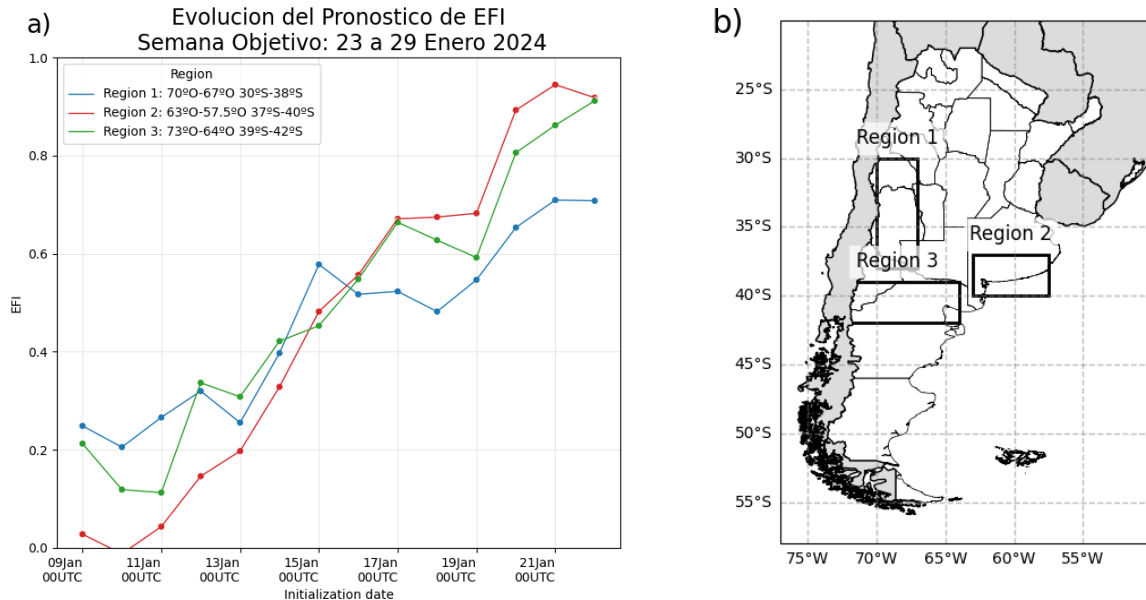
## 4.2 Rango extendido

La Figura 4a (panel derecho) muestra el promedio semanal del EFI de temperatura a 2 metros en la primera semana del evento de ola de calor, desde el 23 al 29 de enero 2024 realizado con el modelo EXT. El pronóstico inicializado una semana antes del evento pronosticó valores de EFI mayores a 0.5 en el centro y noroeste de Argentina, y valores negativos en el noreste. La mayoría de las estaciones, que alcanzaron su condición de ola de calor durante la semana objetivo (Fig. 4b), están dentro del área con EFI semanales de temperatura mayores a 0.5. Para el pronóstico iniciado dos semanas antes del inicio de la ola de calor los valores de EFI también son positivos, por encima de 0.3 en el centro y noroeste de Argentina. Las zonas con EFI altos también incluyen las estaciones con ola de calor, con valores positivos pero menos intensos en las estaciones de Patagonia. A diferencia del pronóstico del modelo ENS, en la semana 2 el EXT si pronostica áreas con SOT mayor a 0.5. En la semana 1, esta área es aún mayor abarcando el norte y este de Patagonia.



**Fig. 4:** (a) Pronósticos de la media semanal de EFI y SOT realizados una semana antes de la semana objetivo y dos semanas antes con el modelo de rango extendido EXT. Los colores indican la intensidad y signo de EFI mientras que los contornos encierran áreas con SOT del P90 mayor o igual a 0.5. (b) Mapa de estaciones que cumplen el criterio de ola de calor durante al menos 3 días en la semana entre el 23 al 29 de enero 2024. El tamaño indica la cantidad de días consecutivos en ola de calor.

De los pronósticos de EXT (Fig. 5a) se puede observar que la región de Cuyo (Region 1, ver Fig 5b) tenía valores de EFI de temperatura entre 0.2 a 0.4 dos semanas antes del inicio de la semana objetivo. Similarmente, en el norte de Patagonia (Region 3) presentaba EFI de temperatura entre 0.1 y 0.4 en esa semana, con un leve descenso el 10 y 11 de enero. Al mismo tiempo, los pronósticos inicializados desde 9 al 14 de enero predijeron valores menores de EFI para la mitad sur de Buenos Aires (Región 2), en un rango entre 0 a 0.4. Una semana antes del inicio del evento, los pronósticos en la Región 1 incrementaron el EFI hasta 0.6 el 15 de enero, para luego decrecer levemente. A partir del 18 de enero todas las áreas presentaron valores de EFI mayores a 0.5 y continuaron creciendo en los siguientes días, cerca del inicio del evento.



**Fig. 5:** (a) El panel (a) muestra la evolución del pronóstico de EFI semanal de T2M promediado en tres regiones del centro de Argentina obtenidos del modelo EXT. La abscisa indica el día de ejecución del modelo, donde todos son válidos para la semana del evento. El panel (b) presenta las tres regiones donde se calcula el EFI promediado por la latitud.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se estudiaron los pronósticos subestacionales para la primera semana de la ola de calor ocurrida entre el 23 al 29 de enero 2024 usando los índices de monitoreo para eventos extremos EFI y SOT. Además, se utilizaron dos modelos con diferentes plazos de pronóstico, ENS y EXT, para conocer la capacidad de anticipación posible en este evento.

Tanto el modelo ENS como el EXT fueron capaces de predecir valores positivos de EFI de temperatura en la primera semana de la ola de calor con hasta dos semanas de anticipación. Sumado a esto, aún con pronósticos iniciados diez días antes del evento, el área con mayores valores de EFI coincide con la ubicación de altos índices de calor extremo. Por lo tanto, los productos derivados de estos modelos podrían haber sido usados para anticipar las altas temperaturas. Notablemente, el modelo EXT pronostica mayores valores de EFI de temperatura en el norte de Patagonia que el modelo ENS.

La severidad del evento, indicada con el SOT, fue recalcada por el modelo EXT con dos semanas de anticipación en el centro de Argentina, en Neuquén, Rio Negro y sur de La Pampa y Buenos Aires, pero no fue observada por ENS. Con un plazo menor, tanto EXT como ENS pronosticaron que el evento sería severo en el centro de Argentina, como en el sur de Buenos Aires, pero sin incluir al este de Mendoza y San Luis, donde se registraron 5 días o más con ola de calor en la semana del evento.

En resumen, ambos modelos demostraron capacidades para predecir el inicio de la ola de calor con dos semanas de anticipación, e informar de su severidad con una semana antes del evento. El pronóstico de ENS

logra predecir el desplazamiento de la masa de aire, desde el centro hacia el norte de Argentina, sin incluir Patagonia. Sin embargo, EXT si fue capaz de predecir un evento inusual y severo en el norte de Patagonia dos semanas antes. En consecuencia, ambos modelos deberían ser usados en conjunto, no solamente por sus distintos plazos de pronóstico, sino también por la diferencia de desempeño entre regiones.

## Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a todas las personas que hicieron posible la colaboración entre el Servicio Meteorológico Nacional y el European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), en el proyecto “South American Regional Model Verification Pilot”. El liderazgo y generosidad de los investigadores de ECMWF ha sido una constante fuente de inspiración. En particular, extendemos el agradecimiento a nuestros patrocinadores: Working Group on Numerical Experimentation (WGNE) y Joint Working Group on Forecast Verification Research (JWGFVR), pertenecientes a la Organización Meteorológica Mundial.

## REFERENCIAS

Stella, J. L., 2024: Informe Especial N°4 por ola de calor / Altas Temperaturas Temporada 2023-2024, Servicio Meteorológico Nacional.

Hewson, T., Chevallier, M., 2024: Use and Verification of ECMWF products. Technical Memorandum 919. ECMWF. <https://doi.org/10.21957/734D5D4D39>

Tsonevsky, I., Doswell, C. A., III, Brooks, H. E., 2018: Early Warnings of Severe Convection Using the ECMWF Extreme Forecast Index. Weather and Forecasting, 33(3), 857-871. <https://doi.org/10.1175/waf-d-18-0030.1>

## 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)).