

Verificación preliminar del Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Frío (SAT-TE Frío)

Nota Técnica SMN 2022-130

Natalia Herrera¹

¹ Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios. Dirección Central de Monitoreo del Clima, SMN.

Octubre 2022

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

Se presentan los resultados preliminares de la verificación de los alertas emitidos por el Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Frío (SAT-TE Frío) desde el 9 de junio al 20 de septiembre de 2021, período en el que funcionó de manera interna. El SAT-TE Frío funciona de manera automatizada para 71 estaciones meteorológicas, distribuidas en todo el territorio continental argentino, incluyendo las Islas Malvinas. Emite un alerta diario que puede tener 4 niveles (verde, amarillo, naranja y rojo). Las condiciones necesarias para que se activen los niveles de alerta amarillo, naranja y rojo, están relacionadas con la ocurrencia de un día frío (DF) (alerta amarillo), de una ola de frío (OF) (alerta naranja), o de una OF extrema, tanto en valores de temperatura como en duración (alerta rojo). El alerta verde ocurre cuando no hay ni observaciones ni pronóstico de un DF. En esta Nota Técnica se hará una verificación de los alertas publicados por el SAT-TE Frío a través de los índices de verificación más utilizados a nivel internacional: BIAS, Proporción correcta (PC ~ Accuracy), Probabilidad de detección (POD), False Alarm ratio (FAR), Threat Score (TS) y Equitable Threat Score (ETS), y de un Diagrama de performance, que reúne la información de los siguientes 4 índices: POD, SR (1-FAR), BIAS y TS).

Abstract

The alerts issued by the Early Warning System for Extreme Cold Temperatures (SAT-TE Frío in spanish) from June 9 to September 20, 2021, in which it worked internally, are verified. SAT-TE Frío works in an automated way for 71 meteorological stations, distributed throughout the Argentine continental territory, including the Malvinas Islands. The System issue a daily alert that can have 4 levels (green, yellow, orange and red). The conditions necessary for the yellow, orange and red alert levels to be activated are related to the forecast of a cold day (CD) (yellow alert), a cold wave (CW) (orange alert), or an extreme CW (red alert), both in temperature values and in duration. The green alert occurs when there are neither observations nor forecasts of a CD. In this Technical Note, a verification of the alerts issued by the SAT-TE Frío will be carried out through the most widely used verification indices at the international level: BIAS, Proportion Correct (PC ~ Accuracy), Probability of Detection (POD), False Alarm Ratio (FAR), Threat Score (TS) y Equitable Threat Score (ETS), and a Performance Diagram, which gathers the information of four of these indices: POD, SR (1-FAR), BIAS and TS.

Palabras clave: verificación, SAT-TE Frío, Argentina.

Citar como:

Herrera, N., 2022: Verificación preliminar del Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Frío (SAT-TE Frío). Nota Técnica SMN 2022-130.

1. INTRODUCCION

El bienestar del ser humano está relacionado con la temperatura ambiente y tiene un rango de temperatura óptima, que según la Organización Mundial de la Salud se encuentra entre los 20 y los 27 °C (OMS, 1969). Los eventos extremos de temperatura, tanto de frío como de calor, generan impactos en la salud de la población, que se reflejan en los registros de hospitalizaciones y de mortalidad. Sin embargo, los eventos de temperaturas bajas no han sido tan estudiados como los de temperaturas altas pese a que en ambos extremos se observa que se incrementan los efectos sobre la salud (Carmona Alférez y otros, 2016; Anderson y otros, 2009; Huynen y otros, 2001).

Estudios realizados en Estados Unidos y en Europa han encontrado una relación inversa entre el descenso de temperatura y la mortalidad general por causas naturales, como así también con incrementos de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares y respiratorias (Aalitis y otros, 2008; Bhaskaran y otros, 2009; Keatinge y otros, 2004). Otros estudios refieren al impacto de la variabilidad térmica sobre la salud. No solamente las temperaturas extremas sino también variaciones más pequeñas y frecuentes pueden afectar al organismo de manera de producir un impacto negativo que puede incluso desembocar en la muerte. En el caso de las temperaturas bajas, se reconoce que el efecto sobre la salud manifiesta un rezago más prolongado a partir del momento de la exposición que los relacionados con las temperaturas altas (Armstrong y otros, 2006).

En los últimos 60 años se observó en gran parte del país un aumento en las temperaturas a nivel anual, especialmente en el caso de las temperaturas mínimas. Contrariamente, durante el invierno (junio-julio-agosto), el aumento fue mayor en las temperaturas máximas medias, en tanto que las temperaturas mínimas medias en la zona central del país y parte central del norte de la Patagonia y de la provincia de Buenos Aires no mostraron cambios o incluso disminuyeron (<https://www.smn.gob.ar/clima/tendencias>). Asociado al aumento de las temperaturas a nivel anual, los días con temperaturas mínimas inferiores al percentil 10 (Tn10p) y los días con temperaturas máximas inferiores al percentil 10 (Tx10p) han disminuido, siendo más coherente espacialmente la disminución en el caso de la Tn10p. Sin embargo, se observa que en gran parte de las localidades analizadas en Argentina estas tendencias fueron débiles y en muchos casos no significativas (Skansi y otros, 2013). Se destaca que en los meses de julio y agosto en general no se observó una disminución en la frecuencia de Tx10p ni de Tn10p, incluso en algunas localidades han aumentado (http://www.crc-sas.org/es/climatologia_extremos_climaticos.php).

En Argentina se han evaluado los efectos de las bajas temperaturas sobre la mortalidad en 21 ciudades para el período 2005-2015, en un estudio realizado por el Ministerio de Salud, el SMN, la Universidad Nacional de Entre Ríos, la Universidad Nacional de La Matanza y la Universidad de Buenos Aires. Allí se reportó que en la semana posterior a un Día Frío (DF) el riesgo de morir aumentó significativamente en la mitad de las ciudades analizadas (entre un 4,1% y un 13,9%), mientras que las Olas de Frío (OF) se asocian con un aumento en el riesgo de morir en la semana posterior en ocho ciudades (entre 5,5% y 30,3%) y en 10 ciudades en las dos semanas posteriores, aunque con valores algo más bajos. El riesgo de morir en las personas mayores de 64 años también se incrementó en 8 ciudades en la semana posterior a una OF (entre 7,5% y 62,3%). Además, se observaron incrementos significativos en el riesgo de morir por causas cardiovasculares y respiratorias en la semana posterior a los eventos de frío extremo pero con gran variabilidad. Por último, son destacables los incrementos en el riesgo de morir en ciudades con clima subtropical, como Corrientes, Formosa, Posadas y Resistencia (Chesini y otros, 2019). Esto último refuerza la necesidad de contar con un sistema de alerta temprana de alcance nacional. Durante el semestre frío del año 2021 funcionó a nivel interno el Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Frío (SAT-TE

Frío) (Herrera y otros, 2022), el cual pasó a fase operativa para todo el público en 2022. Se muestra en este informe los resultados preliminares de la verificación de este Sistema.

El Plan transversal de verificación de pronósticos del SMN (de Elia, 2021) tiene como objetivo establecer criterios y metodologías comunes entre diferentes Direcciones del SMN en lo que respecta a la verificación de pronósticos. Es muy recomendable adoptar un marco general y coherente en la verificación de pronósticos y utilizar métodos comunes de última generación. En los últimos años se han realizado esfuerzos para armonizar las prácticas de verificación internacional. El trabajo de Pertti Nurmi (2003) presenta varios índices simples y fáciles de entender. Se presentan varios índices de verificación para evaluar el funcionamiento del SAT-TE Frío.

2. METODOLOGÍA

Para cada estación meteorológica se generaron las series diarias de “alertas observados” para el período comprendido entre el 9 de junio y el 20 de septiembre de 2021 (104 alertas). Para calcular estas series se tomaron de cada estación meteorológica los valores observados de temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax) y también sus respectivos valores de los percentiles 10, 5 y 1, calculados para los meses de abril a septiembre de 1961-2010. Con estos datos se pudieron aplicar los criterios para determinar los alertas (Tablas I, II y III de Herrera y otros, 2022). Se consideró que las temperaturas observadas del día +1, correspondían a ser exactamente los valores del pronóstico a 24h del día 0 (día que se publica el alerta). Por lo cual se construyó una serie que denominaremos de *alertas observados*, que contiene los siguientes valores: 1 (alerta verde), 2 (alerta amarillo), 3 (alerta naranja) o 4 (alerta rojo).

A la serie de 104 “alertas observados” de cada estación meteorológica se la comparó con la respectiva serie de alertas publicados. El 3 de agosto de 2021 no funcionó el Sistema, por lo cual quedaron 103 alertas por estación. No se verifica una de las 71 estaciones que componen actualmente el SAT-TE Frío (Campo de Mayo) debido a que para esa estación no funcionó el sistema durante el 2021 porque fue añadida luego de la verificación.

En total para todas las estaciones meteorológicas en el período a verificar se dieron 7280 alertas, de los cuales 6940 fueron verdes (95.33%), 317 fueron amarillos (4.35%), 23 fueron naranjas (0.32%) y no hubo alertas rojas. Debido a que por la naturaleza del evento en proporción se tienen muchos más alertas amarillos que naranjas y rojos, se decidió pasar el sistema de verificación a una forma dicotómica, destacando si hubo alerta (amarillo, naranja o rojo, indistintamente el color) o si no hubo alerta (alerta verde).

Con estos datos se construyó una tabla de contingencia de 2x2 para cada estación meteorológica, como se muestra en la Tabla I. Las cuatro combinaciones de pronósticos (sí/no) y observaciones (sí/no) son:

- A- N° de ACIERTOS: se pronosticó alerta (amarillo, naranja o rojo) y se observó alerta (amarillo, naranja o rojo).
- B- N° de FALSAS ALARMAS: se pronosticó alerta (amarillo, naranja o rojo) y no se observó alerta (amarillo, naranja o rojo) (se observó alerta verde).
- C- N° de SORPRESAS: no se pronosticó alerta (amarillo, naranja o rojo) y se observó alerta (amarillo, naranja o rojo).
- D- N° de ACIERTOS NEGATIVOS: no se pronosticó alerta (amarillo, naranja o rojo) y no se observó alerta (amarillo, naranja o rojo) (se observó alerta verde).

Tabla I: Tabla de contingencia.

PRONÓSTICO	OBSERVADO		
	SI	NO	TOTALES
SI	N° de ACIERTOS (A)	N° de FALSAS ALARMAS (B)	TOTAL PRONOSTICADOS SI (A+B)
NO	N° de SORPRESAS (C)	N° de ACIERTOS NEGATIVOS (D)	TOTAL PRONOSTICADOS NO (C+D)
TOTALES	TOTAL OBSERVADOS (A+C)	TOTAL NO OBSERVADOS (B+D)	TOTAL (A+B+C+D) = N

Hay dos casos en los que el pronóstico es correcto (A y D) y dos casos en los que el pronóstico es incorrecto (B y C). Un sistema de pronóstico perfecto tendría solo aciertos (A) y aciertos negativos (D), siendo las otras celdas = 0. A partir de la tabla de contingencia se calcularon los siguientes índices de verificación:

- **BIAS (Bias en frecuencia):** El sesgo de los pronósticos binarios compara la frecuencia de los pronósticos (A+B) con la frecuencia de las ocurrencias observadas (A+C) y está representado por la relación:

$$\text{BIAS} = (A+B)/(A+C) \sim (\text{Aciertos} + \text{Falsas alarmas})/(\text{Aciertos} + \text{Sorpresas})$$

Rango del score: 0 a ∞ , perfecto: 1. Con $\text{BIAS} > 1$ (< 1) el sistema de pronóstico muestra un pronóstico excesivo (insuficiente) del evento. Como en el caso de las variables continuas, el sesgo no es una medida de precisión.

- **Proporción Correcta (Accuracy):** es la medida de verificación más simple e intuitiva que brinda información sobre la precisión de un sistema de pronóstico categórico. Está representado por la relación:

$$\text{PC} = (A+D)/N \sim (\text{Aciertos} + \text{Aciertos negativos})/\text{total}$$

Rango del score: 0 a 1, perfecto: 1. La PC suele ser muy engañosa porque recompensa los pronósticos correctos de "sí" y "no" por igual y está fuertemente influenciada por la categoría más común.

- **POD (Probability Of Detection):** es la medida que examina por defecto el evento (extremo) midiendo la proporción de eventos observados que se pronosticaron correctamente. Está representado por la relación:

$$\text{POD} = A/(A+C) \sim \text{Aciertos}/(\text{Aciertos} + \text{Sorpresas})$$

Rango del score: 0 a 1, perfecto: 1. También se denomina tasa de aciertos (Hit Rate), que no debe confundirse con PC. El complemento de POD es la tasa de fallas (Miss Rate) (es decir, $1 - \text{POD}$ o $C/(A+C)$) que da el número relativo de eventos perdidos. POD es sensible a los aciertos pero no tiene en cuenta las falsas alarmas. Si bien es deseable maximizar el número de aciertos y minimizar el número de falsas alarmas, se requiere que el POD se examine junto con el índice de falsas alarmas (FAR).

- **FAR (False Alarm Ratio):** FAR también es muy sensible a la frecuencia climatológica del evento. A diferencia de POD, FAR es sensible a las falsas alarmas pero no tiene en cuenta las sorpresas. Está representado por la relación:

$$\text{FAR} = \text{B}/(\text{A}+\text{B}) \sim \text{Falsas Alarmas}/(\text{Aciertos} + \text{Falsas Alarmas})$$

Rango del score: 0 a 1, perfecto: 0. Es decir, FAR tiene una orientación negativa. Debido a que el aumento de POD se logra al aumentar FAR y la disminución de FAR al disminuir POD, POD y FAR deben examinarse juntos.

- **TS (Threat Score):** es una medida de verificación ampliamente utilizada en eventos raros. TS es sensible a los aciertos y tiene en cuenta tanto las falsas alarmas como las sorpresas y puede verse como una medida para el evento que se pronostica después de eliminar los aciertos negativos. Está representado por la relación:

$$\text{TS} = \text{A}/(\text{A}+\text{B}+\text{C}) \sim \text{Aciertos}/(\text{Aciertos} + \text{Falsas Alarmas} + \text{sorpresas})$$

Rango del score: 0 a 1, perfecto: 1, sin habilidad en el pronóstico: 0. TS es sensible a la frecuencia climatológica de los eventos (produciendo puntajes más bajos para eventos más raros), ya que algunos aciertos pueden ocurrir debido al azar. Para superar este efecto, un índice similar es el ETS.

- **ETS (Equitable Threat Score):** también conocido como Gilbert's Skill Score (GSS). Está representado por la relación:

$$\text{ETS} = (\text{A}-\text{Ar})/(\text{A}+\text{B}+\text{C}-\text{Ar}) \sim (\text{Aciertos}-\text{Aciertos al azar})/(\text{Aciertos} + \text{Falsas Alarmas} + \text{sorpresas}-\text{Aciertos al azar})$$

$$\text{Ar} = (\text{A}+\text{B})(\text{A}+\text{C})/\text{N} \quad \text{Ar es el número de aciertos para pronósticos aleatorios.}$$

Rango del score: -1/3 a 1, perfecto: 1, sin habilidad en el pronóstico: 0.

Roebber (2009) diseñó un método para representar visualmente en un solo diagrama (Performance Diagram) algunos de estos índices: **POD**, **FAR** (con su equivalente Success Ratio $\text{SR}=1-\text{FAR}$), **BIAS** y **TS**.

De esta forma se obtiene así una visualización inmediata de las diferentes medidas de performance en lo que se llama **Diagrama de performance** (Figura 1). Para buenos pronósticos, POD, SR, BIAS y TS se aproximan a la unidad, de modo que un pronóstico perfecto se encuentra en la parte superior derecha del diagrama (punto negro), con alta probabilidad de detección, sin falsas alarmas y sin BIAS. Las desviaciones en una dirección particular indicarán las diferencias relativas en POD y SR y, en consecuencia, el BIAS y el TS. La abscisa corresponde a $1-\text{FAR}$, es decir su máximo en 1 implica la ausencia de falsas alarmas. Las líneas punteadas corresponden a diferentes valores de BIAS, con $\text{BIAS} = 1$ en la diagonal del gráfico. Si $\text{BIAS} > 1$ (punto azul) el sistema de pronóstico exhibe sobrepronóstico del evento, y si $\text{BIAS} < 1$ (puntos rojo y verde) el sistema de pronóstico exhibe subpronóstico del evento. Se puede notar que el punto verde subestima aún más que el punto rojo. Si se comparan los puntos azul y el rojo, se puede ver que el punto azul ($\text{BIAS} \sim 1.4$) sobreestima el pronóstico en mayor medida que lo que el punto rojo ($\text{BIAS} \sim 0.8$) lo subestima.

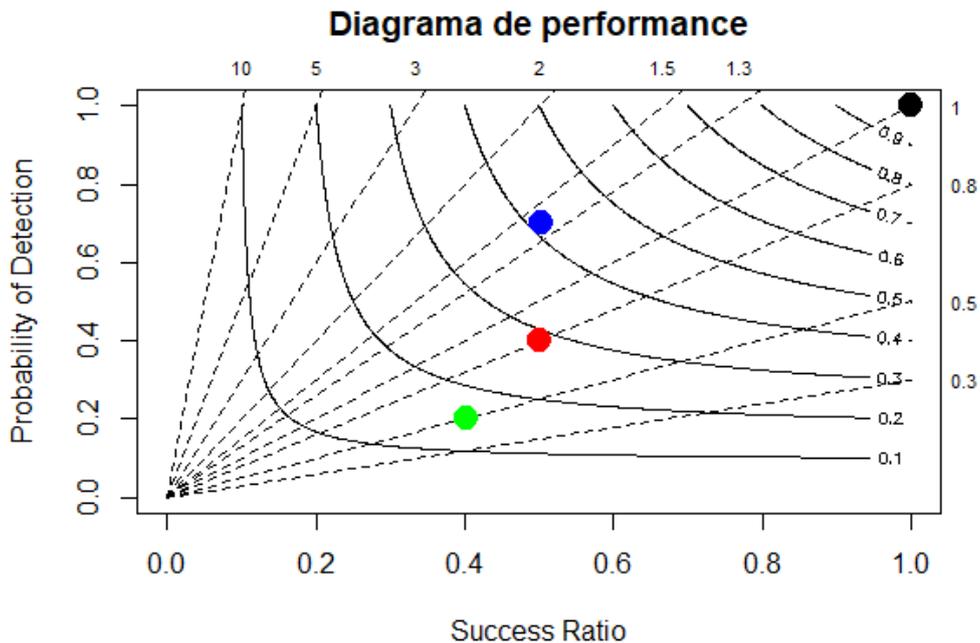


Fig. 1: Ejemplo de diagrama de performance. Los puntos (negro, rojo, azul y verde) muestran 4 casos genéricos. El punto negro correspondería a un caso donde hay aciertos y no hay ni falsas alarmas ni sorpresas. El punto verde corresponde a un caso donde se tienen muchas sorpresas y algunas falsas alarmas. El punto rojo corresponde a un caso que tiene casi igual cantidad de aciertos, sorpresas y falsas alarmas, y el punto azul corresponde a un caso que tiene similar cantidad de aciertos y de falsas alarmas, con menor cantidad de sorpresas.

3. RESULTADOS

En la Figura 2a se muestra el mapa con la frecuencia de los alertas observados (A+C ~ Aciertos + Sorpresas) para cada estación meteorológica. Esta información es útil porque demuestra que en algunas regiones (como en la Patagonia, Islas Malvinas y en centro de la provincia de Buenos Aires) no se observaron o se observaron muy pocas alertas (entre 0 y 4), mientras que en el Noreste, Cuyo y el centro-este del país se observaron las mayores frecuencias.

Según las características de las tablas de contingencia de cada estación meteorológica se realizó un agrupamiento de estaciones con similar comportamiento. Se dividió al país en 6 regiones (Figura 2b): Noreste, Noroeste, Cuyo, Córdoba, Centro y Patagonia. A la región Patagonia se unió también el centro de la provincia de Buenos Aires y las Islas Malvinas por presentar el mismo comportamiento en cuanto a que casi no se observaron alertas durante el periodo de verificación. También se consideró el resultado de unir las 70 estaciones meteorológicas (País).

Las características sobresalientes de cada grupo fueron (ver Apéndice A): El Noreste se destaca entre todas las regiones por presentar la tasa más baja de falsas alarmas con respecto a los aciertos y también presenta una baja tasa de sorpresas respecto a los aciertos. La región que le sigue en cuanto a habilidad es Córdoba, con igual tasa de sorpresas respecto a los aciertos, pero una mayor tasa de falsas alarmas

respecto a aciertos. Ambas regiones fueron las únicas que presentaron una mayor cantidad de aciertos que de falsas alarmas.

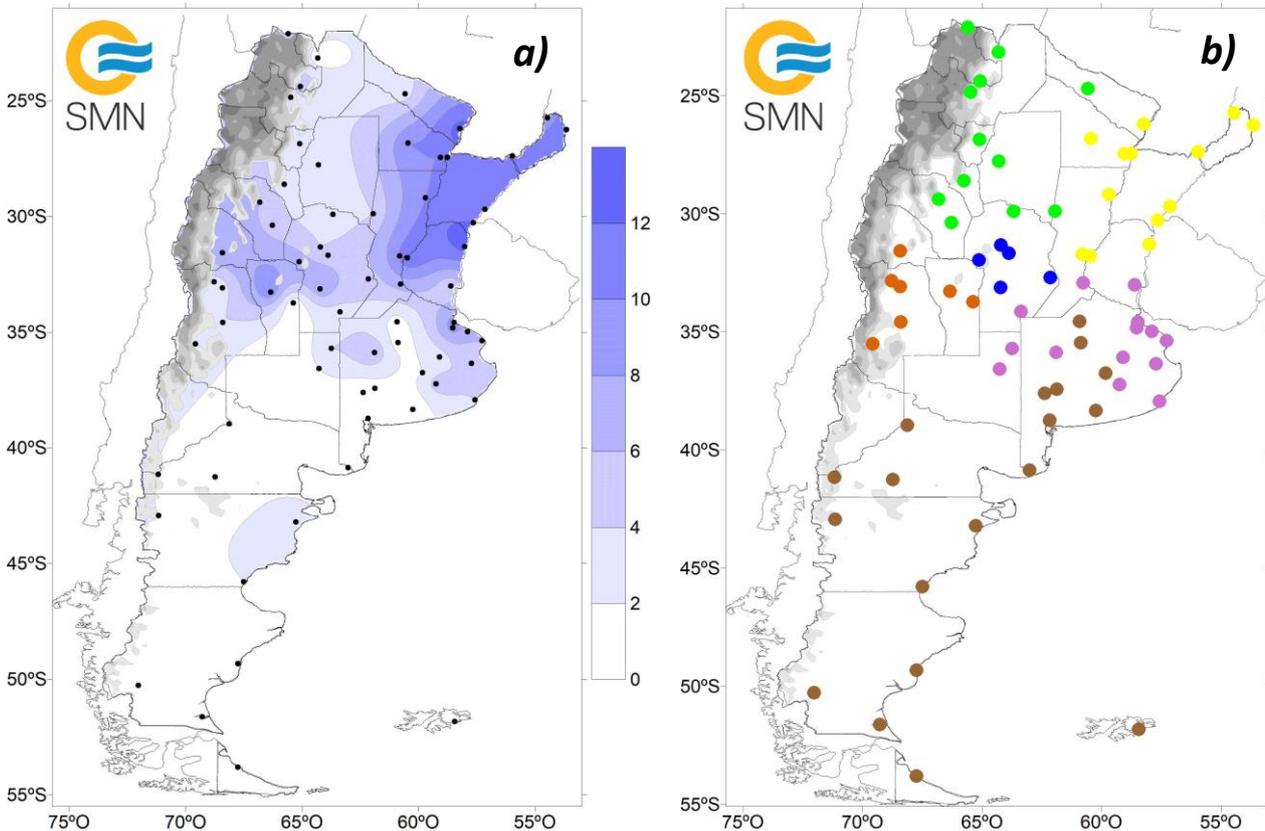


Fig. 2: a) Cantidad de alertas observados en el SAT-TE Frío entre el 9 de junio y el 20 de septiembre de 2021; b) Regiones en las que se dividió la verificación: Noreste (amarillo), Noroeste (verde), Cuyo (naranja), Córdoba (azul), Centro (violeta) y Patagonia (marrón).

Las regiones que siguen en cuanto a habilidad son Cuyo y Centro, con similares tasas entre sí de falsas alarmas con respecto a los aciertos y de sorpresas con respecto a aciertos. El Noroeste presentó una elevada tasa de falsas alarmas con respecto a los aciertos (más del doble de falsas alarmas), aunque su tasa de sorpresas/aciertos fue tan buena como la de las regiones Cuyo y Centro. Por último la región Patagonia fue la región que obtuvo las peores métricas, con una tasa muy elevada de falsas alarmas/aciertos, superando en 6,7 veces la cantidad de falsas alarmas respecto de los aciertos, y en 2 veces la cantidad de sorpresas que de aciertos.

A partir de las tablas de contingencia (Apéndice A) se calcularon todos los índices descriptos en la metodología (Tabla II) y también se generó el Diagrama de performance (Figura 3).

Tabla II: Índices de verificación calculados para cada región y a nivel País. El resaltado en blanco correspondería a un valor perfecto del índice, en rojo correspondería a un valor del índice con mala habilidad.

	BIAS	Proporción Correcta ~ Accuracy	Probability Of Detection ~ POD	False Alarm Ratio ~ FAR	Threat Score ~ TS	Equitable Threat Score ~ ETS
Noreste	1.06	0.96	0.87	0.19	0.72	0.69
Noroeste	2.00	0.94	0.64	0.68	0.27	0.25
Cuyo	1.58	0.94	0.61	0.61	0.31	0.29
Córdoba	1.38	0.96	0.86	0.38	0.57	0.54
Centro	1.47	0.93	0.58	0.61	0.30	0.28
Patagonia	2.57	0.97	0.33	0.87	0.10	0.10
PAÍS	1.44	0.95	0.72	0.50	0.42	0.39

Todas las regiones presentaron BIAS > 1, lo que indica que se pronosticó el evento por exceso. Esto es esperable, debido a las consideraciones y estimaciones que hace el SAT-TE Frío (Herrera y otros, 2022), que como no se quiere subestimar la ocurrencia de un evento de temperatura extremo, a todos los pronósticos de temperatura máxima y mínima se les resta 1°C. Para este Sistema, que pretende alertar tanto a la población como a los organismos de salud, protección civil, emergencias y gestión del riesgo de desastre para que puedan tomar las medidas de prevención, mitigación y de respuesta adecuadas a cada nivel de alerta, es preferible que se dé un alerta por demás, a que no se dé y ocurra (sorpresa).

La Proporción Correcta (Accuracy) de todas las regiones es similar y elevada. Este índice es perfecto cuando es 1. Pero suele ser muy engañosa porque recompensa los pronósticos correctos de "sí" y "no" por igual y está fuertemente influenciada por la categoría más común, que en este caso es "no"- "no" (no se pronosticó alerta y no se observó alerta).

La región que obtuvo la mejor habilidad es el Noreste, que tiene una alta probabilidad de detección (POD = 0.87) y un alto Success Ratio (SR = 1- FAR = 0.81), producto de un bajo valor de falsas alarmas (FAR = 0.19), dejando un BIAS superior, de 1.06, un Threat Score (TS) de 0.72 y un Equitable Threat Score (ETS) de 0.69.

La región que le sigue en cuanto a mejor habilidad es Córdoba, que si bien tiene un BIAS elevado (1.38) obtuvo un POD de 0.86, similar a la región Noreste, aunque su SR es más bajo (0.62), indicando una mayor tasa de falsas alarmas (FAR = 0.38). El ETS también es el segundo más alto con un valor de 0.54.

Luego le siguen en cuanto a habilidad las regiones Cuyo, Centro y Noroeste con BIAS de 1.58, 1.47 y 2.00 y un POD de 0.94, 0.93 y 0.94 respectivamente. Los Success Ratio fueron de 0.39, 0.39 y 0.32 respectivamente. Los TS de las tres regiones estuvieron entre 0.27 y 0.3 y los ETS entre 0.25 y 0.29.

Finalmente la región que obtuvo la peor habilidad fue Patagonia, con un BIAS de 2.57, un POD de 0.33, un SR de 0.13, y un TS y ETS de 0.10.

Al evaluar los resultados a nivel País, se obtuvo un BIAS de 1.44, un POD de 0.72, un SR de 0.05, un TS de 0.42 y un ETS de 0.39.

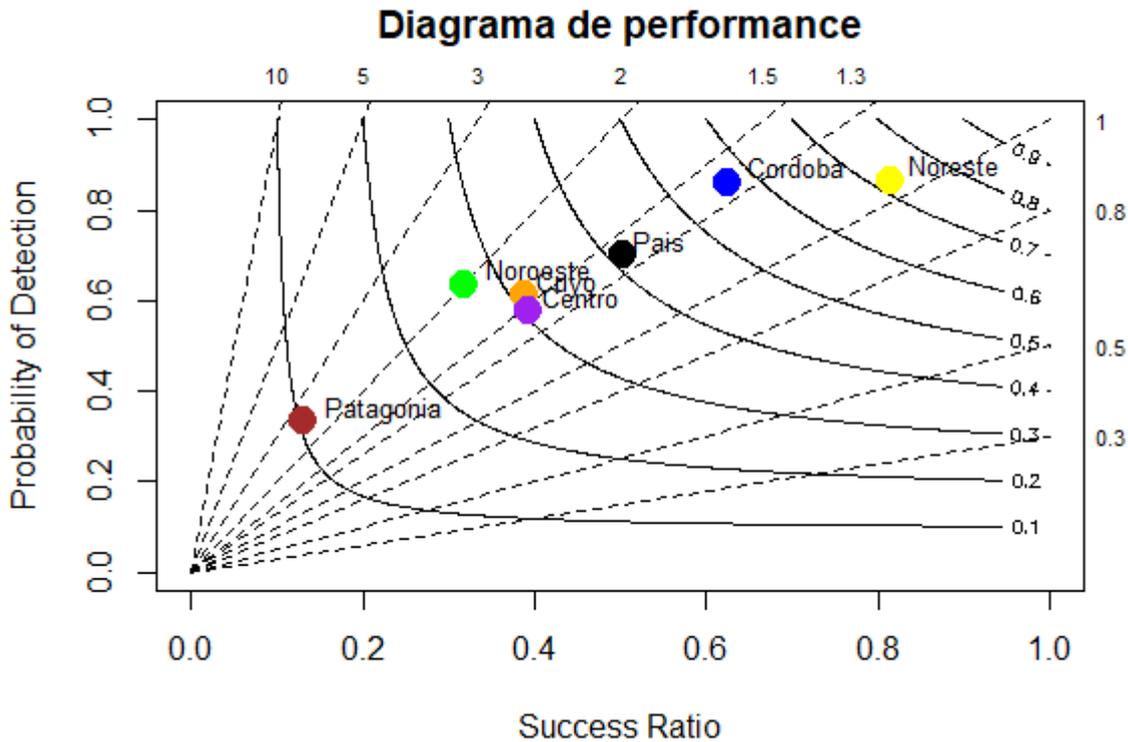


Fig. 3: Diagrama de performance, para las regiones: Noreste (amarillo), Noroeste (verde), Cuyo (naranja), Córdoba (azul), Centro (violeta), Patagonia (marrón) y País (negro). La abscisa corresponde a SR que es equivalente a 1-FAR. La ordenada corresponde al índice POD.

4. CONCLUSIONES

Se realizó la verificación de los alertas emitidos por el Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Frío (SAT-TE Frío) entre el 9 de junio y el 20 de septiembre de 2021. Para realizar la verificación se calculó para cada una de las estaciones meteorológicas que comprenden al SAT-TE Frío, una serie de alertas observados, que indican para cada día si hubo alerta (amarillo, naranja o rojo) o si no hubo (alerta verde). Esta serie de alertas observados se contrastó con la serie de alertas publicadas por el SAT-TE Frío. Se dividió el país en 6 regiones (Noreste, Noroeste, Cuyo, Córdoba, Centro y Patagonia) y también se analizaron los resultados a nivel País. Para cada región y para el País se calcularon 6 índices de verificación: BIAS, Proporción correcta (PC ~ Accuracy), Probabilidad de Detección (POD), False Alarm Ratio (FAR), Threat Score (TS) y Equitable Threat Score (ETS) y un Diagrama de performance, que reúne en un diagrama la información de los siguientes 4 índices: POD, SR (1-FAR), BIAS y TS.

Todas las regiones presentaron un sobrepronóstico del evento, que era lo esperable debido a las consideraciones y estimaciones que hace el SAT-TE Frío, ya que se busca prevenir un posible evento extremo frío y es preferible que se dé un alerta por demás, a que no se dé y ocurra (sorpresa). La Proporción Correcta (Accuracy) de todas las regiones fue similar y elevada, debido a que este índice está fuertemente influenciada por la categoría más común, que en este caso fue de “no”-“no” (no se pronosticó

alerta y no se observó alerta). La región que obtuvo la mejor habilidad fue el Noreste, destacándose por tener una alta probabilidad de detección y un alto Success Ratio, producto de un bajo valor de falsas alarmas. La región que le siguió en cuanto a mejor habilidad fue Córdoba. Le siguen Cuyo, Centro y Noroeste, las cuales se encontraron con similares habilidades, aunque se puede observar fácilmente que el Noroeste obtuvo una mayor POD a costa de un menor SR producto de una elevada tasa de falsas alarmas. También fue una de las regiones que más sobreestimó el evento.

La región que obtuvo la peor habilidad fue la Patagonia, con métricas muy deficientes. Se toma con mucho cuidado este resultado, debido a que se presentaron muy pocos o nulos eventos fríos durante el período de verificación. Este es un resultado preliminar debido a que se cuenta con muy poca información hasta el momento. Se extenderá este análisis a la brevedad cuando haya más temporadas, y por lo tanto más eventos de temperatura extrema fríos.

Este análisis se actualizará cuando se tengan más datos así se obtienen resultados más robustos.

APÉNDICE A: Tablas de contingencia

Noreste		OBSERVADO		
		SI	NO	TOTALES
PRONÓSTICO	SI	123	28	151
	NO	19	1169	1188
	TOTALES	142	1197	1339

Noroeste		OBSERVADO		
		SI	NO	TOTALES
PRONÓSTICO	SI	28	60	88
	NO	16	1132	1148
	TOTALES	44	1192	1236

Cuyo		OBSERVADO		
		SI	NO	TOTALES
PRONÓSTICO	SI	19	30	49
	NO	12	660	672
	TOTALES	31	690	721

Córdoba		OBSERVADO		
		SI	NO	TOTALES
PRONÓSTICO	SI	25	15	40
	NO	4	471	475
	TOTALES	29	486	515

Centro		OBSERVADO		
		SI	NO	TOTALES
PRONÓSTICO	SI	42	65	107
	NO	31	1303	1334
	TOTALES	73	1368	1441

Patagonia		OBSERVADO		
		SI	NO	TOTALES
PRONÓSTICO	SI	7	47	54
	NO	14	1888	1902
	TOTALES	21	1935	1956

PAÍS		OBSERVADO		
		SI	NO	TOTALES
PRONÓSTICO	SI	244	245	489
	NO	96	6623	6719
	TOTALES	340	6868	7208

5. REFERENCIAS

- Aalitis A., K. Katsouyanni, A. Biggeri, M. Baccini, B. Forsberg, L. Bisanti, 2008: Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *Am J Epidemiol.* 168: 1397-1408.
- Anderson BG., M. Bell, 2009: Weather-Related Mortality. How Heat, Cold, and Heat Waves Affect Mortality in the United States. *Epidemiology*, 20(2): 205–213.
- Armstrong B., 2006: Models for the relationship between ambient temperature and daily mortality. *Epidemiology*, 17:624–631.
- Bhaskaran K., S. Hajat, A. Haines, E. Herrett, P. Wilkinson, L. Smeeth, 2009: Effects of ambient temperature on the incidence of myocardial infarction. *Heart*, 95: 1760-1769.
- Carmona Alférez R., J. Díaz Jiménez, I. León Gómez, Y. Luna Rico, IJ. Mirón Pérez, C. Ortiz Burgos, 2016: Temperaturas umbrales de disparo de la mortalidad atribuible al frío en España en el periodo 2000-2009. Comparación con la mortalidad Atribuible al calor. Madrid: Instituto de Salud Carlos III.
- Chesini F., R. Abrutzky, N. Herrera, M. M. Skansi, S. Fontán, E. Gonzalez Morinigo, F. Savoy, E. de Titto, 2019: Mortalidad asociada a eventos extremos de frío en Argentina, 2005-2015. *Rev Argent Salud Pública*, 2019; 10(41): 28-36. ISSN 1852-8724 impreso, ISSN 1853-810X en línea. Disponible en: <http://rasp.msal.gov.ar/rasp/articulos/volumen41/28-36.pdf>.
- de Elía, R., 2021: Plan transversal de verificación de pronósticos del SMN. Nota Técnica SMN 2021-84. Disponible en <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1435>
- Herrera N, F. Chesini, M.A. Saucedo, M.E. Menalled, C. Fernández, D. Damén, A.G. Cejas, 2022: Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Frío (SAT-TE Frío). Nota técnica SMN 2022-125. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1839>
- Huynen MM., P. Martens, D. Schram, MP. Weijenberg, AE. Kunst, 2001: The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population. *Environ Health Perspect*, 109(5): 463-470.
- Keatinge WR., GC. Donaldson, 2004: Winter mortality in elderly people in Britain. *British Medical Journal*, 329:976.
- Nurmi, P., 2003: Recommendations on the verification of local weather forecasts. ECMWF Tech. Memo. 430, 18 pp. <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/11401-recommendations-verification-local-weather-forecasts>
- Organización Mundial de la Salud, 1969: Problemas de salud relacionados con el trabajo en condiciones de sobrecarga térmica. Serie de Informes Técnicos. N° 412. Ginebra, 1969.
- Roebber, P. J., 2009: Visualizing Multiple Measures of Forecast Quality. *Wea. Forecasting*, 24, 601–608, <https://doi.org/10.1175/2008WAF2222159.1>.
- Skansi M.M., M. Brunet, J. Sigró, E. Aguilar, J. A. Arevalo Groening, O. J. Bentancur, Y. R. Castellón Geier, R. L. Correa Amaya, H. Jácome, A. Malheiros Ramos, C. Oria Rojas, A. M. Pasten, S. Sallons Mitro, C. Villaroel Jiménez, R. Martínez, L. V. Alexander, P. D. Jones, 2013: Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change*, Volume 100, January 2013, Pages 295-307.

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), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (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).