

Definición de umbrales meteorológicos para el nuevo sistema de alertas del SMN

Nota Técnica SMN 2021-109

Marcos Saucedo¹, Claudia Competella², Alicia Cejas¹, Carolina Cerrudo³, Ignacio López Amorín¹, José Luis Stella⁴.

¹ Dirección de Pronóstico del Tiempo y Avisos

² Dirección Nacional de Pronósticos y Servicios para la Sociedad

³ Dirección de Servicios Sectoriales

⁴ Dirección Central de Monitoreo del Clima

Noviembre 2021

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

El Servicio Meteorológico Nacional, luego de 20 años, actualiza su sistema de alerta e informes con el fin de acercarse a los estándares internacionales. El nuevo Sistema de Alertas anticipa la ocurrencia de fenómenos de tiempo que pudieran generar situaciones de riesgo, indicando en forma gráfica las áreas que podrían verse afectadas y el nivel de peligrosidad. Para esto se utiliza el siguiente código de colores: verde, amarillo, naranja y rojo. Dicha categorización tiene en cuenta la intensidad del fenómeno meteorológico en sí, como así también la presencia de otros factores adversos que pueden incrementar el riesgo de una situación meteorológica, junto con el plazo del pronóstico. Dentro de este contexto, este trabajo tiene como objetivo definir umbrales meteorológicos por regiones, los cuales representan uno de los elementos necesarios que forman parte de la toma de decisión para definir el nivel de alerta amarillo, naranja y rojo. Dichos umbrales se determinaron para los eventos de lluvia / tormenta, viento / Zonda y nevada. En el caso de las variables lluvia y viento se formó un grupo de trabajo interdepartamental integrado por diversas áreas del SMN. El proceso de trabajo involucró la utilización de percentiles climatológicos y valores extremos, información de impacto, estadísticas de estaciones particulares, y consideraciones relacionadas a la experiencia de la oficina de pronóstico, así como también de experiencias locales. Se realizaron dos propuestas de umbrales por región, una proveniente de la Dirección de Pronósticos del Tiempo y Avisos y la otra de las áreas de la Dirección Central de Monitoreo del Clima (CLIMA) y de la Dirección de Servicios Sectoriales. Dichas propuestas fueron comparadas en base de alertas emitidos en enero y febrero de 2020, obteniendo como resultado una lista definitiva de umbrales a utilizar en la primera etapa de implementación del nuevo sistema de alerta.

Abstract

The National Weather Service of Argentina updates its warning system after 20 years aiming to implement a state-of-the art system. The new warning system anticipates the occurrence of weather events that could suppose a risk, indicating with a graphical format the possible affected areas together with a warning level. For these purposes, a color code is used: Green, yellow, orange and red. This categorization takes into account the intensity of the weather event as well as the presence of adverse events that could enhance the risk, together with the forecast lead time. For this reason the objective of this work is to define meteorological thresholds for different regions of Argentina, which represent one of the key elements in the warning decision process. These thresholds were determined for rain/thunderstorm, wind/Zonda and snow events. For both rain/storm and wind an interdepartmental SMN working group was formed. The working process included the use of climatological percentiles, extreme values, impact information, weather-station statistics and forecast and local experience. Two proposals of regional weather thresholds were presented: the first one from the Weather Forecast and Warning Direction, and the other from Climate Monitoring and Sectorial Services Directions. Both proposals were compared with alerts issued in January and February 2020, obtaining as a result a definitive list of thresholds to utilize in the first stage after the implementation of the new warning system.

Palabras clave: umbrales meteorológicos, Sistema de Alerta Temprana.

Citar como:

Saucedo, M., Campetella C., Cejas A., Cerrudo C., Amorin I., Stella J.L., 2021: Definición de umbrales meteorológicos para el nuevo sistema de alertas del SMN. Nota Técnica SMN 2021-109.

1. INTRODUCCION

Los alertas meteorológicos constituyen pronósticos especiales de carácter preventivo ante eventos meteorológicos severos. El nuevo Sistema de Alertas Temprana (SAT) que implementa el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) desde noviembre de 2020 anticipa la ocurrencia de posibles fenómenos de tiempo severo con días u horas de antelación, indicando las áreas que podrían verse afectadas y el nivel de peligrosidad.

Los alertas contienen los fenómenos observados y/o previstos según el siguiente listado:

- Lluvia
- Tormenta
- Viento
- Viento Zonda
- Nevada

Para comunicar los alertas meteorológicos se adoptan los colores verde, amarillo, naranja y rojo. El significado de cada uno de los colores a utilizar es el siguiente:

- **Verde: No se esperan fenómenos meteorológicos que impliquen riesgos.** Este nivel indica que no hay aviso de alerta meteorológico, o bien indica el momento de cese luego de tener un aviso de alerta meteorológico vigente.
- **Amarillo: Informate y mantenete atento/a.** Posibles fenómenos meteorológicos con capacidad de daño y riesgo de interrupción momentánea de actividades cotidianas. Este será el nivel de alerta más común, es de esperar que surja en el 90 % o más de los avisos de alerta diferentes de verde.
- **Naranja: Preparate e informate.** Se esperan fenómenos meteorológicos peligrosos para la sociedad, la vida y los bienes. En este caso estamos hablando de eventos particularmente intensos y es de esperar que aproximadamente 1 de cada 5 a 10 avisos de alerta sea de este nivel.
- **Rojo: Tomá medidas de precaución y seguí instrucciones oficiales.** Se esperan fenómenos meteorológicos excepcionales con potencial de provocar emergencias o desastres. Este caso está reservado para situaciones muy particulares en donde la intensidad del fenómeno esperado estaría cercano a su máximo climatológico.

Para la definición de los niveles de alerta se tienen en cuenta distintos tipos de información. El objetivo es disponer de un sistema de toma de decisión en el cual, a partir de la información de modelos numéricos, datos observados y condiciones de entorno, el pronosticador pueda determinar de la forma más objetiva posible el nivel de alerta que mejor se ajusta a la situación. Es deseable además que con el uso de este sistema se evite dar niveles de alerta demasiado altos para los eventos más lejanos en el tiempo, y así reducir el número de veces en que se genera una alarma que puede ser falsa, teniendo en cuenta que a más largo plazo el nivel de incertidumbre es mayor.

En el mundo, hay algunos servicios meteorológicos que emiten sus alertas teniendo en cuenta el impacto que tendría el fenómeno meteorológico. Uno de ellos es el Met Office (Reino Unido), que desarrolló la matriz que se presenta en la Figura 1 y que fuera adoptada por otros servicios meteorológicos. Este sistema de toma de decisión determina el nivel de alerta de un evento en particular basado en la matriz de doble entrada que evalúa el potencial impacto del fenómeno y su probabilidad de ocurrencia.

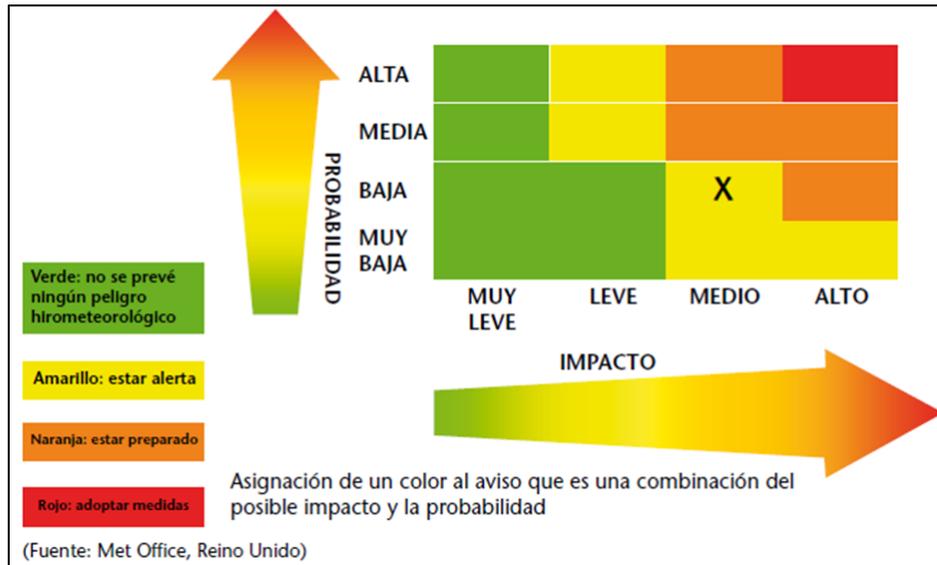


Fig. 1: Matriz de niveles de color de alerta en función del impacto potencial del fenómeno y su probabilidad de ocurrencia (tomada de la publicación OMM N° 1150).

El nuevo SAT del SMN no tiene en cuenta el impacto del fenómeno meteorológico, por lo que para definir el nivel de alerta se adaptó la matriz de la Figura 1, de acuerdo a la disponibilidad de información y capacidades actuales. En este sentido, se tienen en cuenta los siguientes tres parámetros:

1. Intensidad del fenómeno meteorológico (umbral meteorológico).
2. Situación adversa no asociada directamente con la meteorología actual (factor adverso).
3. Plazo de pronóstico.

Teniendo en cuenta dichos factores, en la Figura 2 se presenta la matriz de toma de decisión a utilizar.

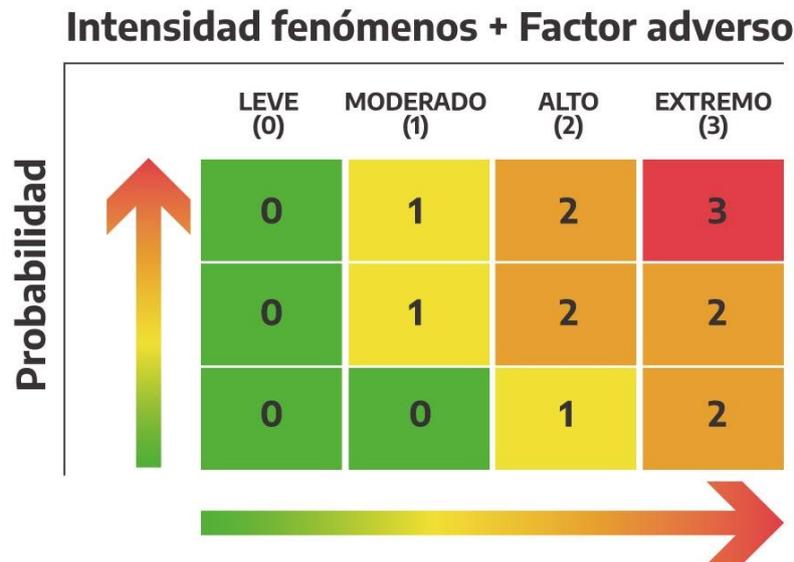


Fig. 2: Matriz de toma de decisión de niveles de alerta según la intensidad del fenómeno, la presencia de factores adversos y la probabilidad de ocurrencia.

De esta manera, cuando se evalúe el nivel de alerta a emitir en una determinada región, se considerará en primer lugar el nivel determinado por la intensidad del fenómeno, para lo cual se utilizarán umbrales meteorológicos que dependerán del fenómeno y su lugar de ocurrencia. Por otra parte, el conocimiento de la presencia en la región de un factor adverso puede modificar la categoría del nivel de alerta definida por el umbral meteorológico. El tercer elemento que puede modificar el nivel de alerta es la probabilidad de ocurrencia del evento a alertar, la cual a su vez, depende de varios factores. Uno de dichos factores corresponde al plazo de tiempo del pronóstico, ya que puede asumirse como primera aproximación que los eventos meteorológicos más cercanos en el tiempo tendrían menor incertidumbre que aquellos más lejanos en el tiempo. Sin embargo, también hay que tener en cuenta que en situaciones donde los fenómenos tienden a ser extremos, la incertidumbre asociada y el error en el pronóstico puede ser mayor.

Por lo tanto, si bien los umbrales meteorológicos no son el único factor a tener en cuenta para determinar el nivel del alerta, son uno de los insumos necesarios que forman parte de la toma de decisión para definirlo. No obstante, los umbrales deben ser utilizados a modo de guía por el pronosticador, y no como una forma de discriminar entre niveles de alerta según un único valor de una determinada variable.

En esta Nota Técnica se presenta una descripción del trabajo realizado para definir dichos umbrales, para los fenómenos mencionados, en diferentes regiones del país.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Para el cálculo de percentiles se utilizó la información proveniente de las estaciones meteorológicas del SMN para el período 1961-2014 para la variable lluvia diaria, y en el período 2001 - 2018 para viento diario máximo.

Los umbrales se definieron para los eventos de lluvia / tormenta, viento / Zonda y nevada, tomándose como premisa definirlos en un número acotado de regiones. Dichas regiones fueron definidas para cada variable a partir de las áreas determinadas en el trabajo de Saucedo (2018). En dicho trabajo se presenta el sistema Meteofactory (actual Pimet), actualmente implementado en el SMN, cuyo módulo de pronósticos y alertas está basado en una división del país en regiones fijas. Esta división consta de un agrupamiento de los 513 departamentos que componen el territorio continental argentino en un total de 168 áreas.

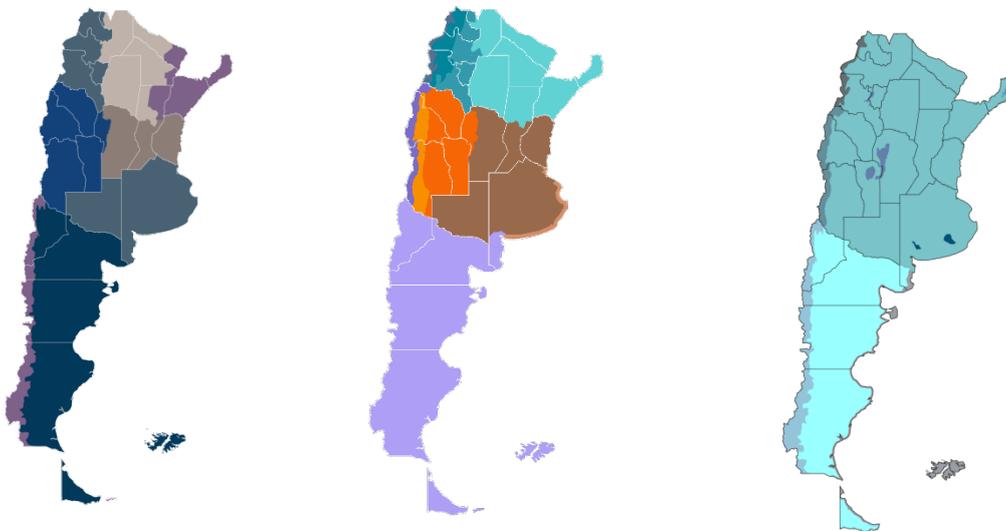


Fig. 3: regiones para definir umbrales de lluvia / tormenta (izquierda), viento / Zonda (centro), nevadas (derecha).

Para el establecimiento de regiones donde definir los umbrales deben considerarse diferentes factores. Los umbrales deben ser lo más representativos posible de cada región, es decir, que en cada región la climatología sea lo más uniforme posible. Desde esta perspectiva, los umbrales deberían definirse para cada una de las 168 áreas, lo cual no es realizable por varios motivos. En primer lugar, porque la toma de decisión del alerta la realiza un pronosticador y no es posible considerar tantos umbrales diferentes en dicho proceso. En segundo lugar, porque existen regiones que no tienen estaciones de observación de referencia, como por ejemplo las regiones de alta montaña en Cordillera de los Andes, o la región de la Puna en el Noroeste argentino.

Tomando en cuenta las consideraciones mencionadas, se definieron las regiones que se muestran en la Figura 3, teniendo como premisa que en cada una de ellas el comportamiento de estos fenómenos sea lo más homogéneo posible.

Para la definición de los umbrales del nivel de alerta amarillo, naranja y rojo para precipitación y viento se formó un grupo de trabajo interdepartamental que involucró a las áreas de la Dirección de Pronósticos del Tiempo y Avisos (DPTyA), la Coordinación de Pronósticos Regionales, Meteorología y Sociedad, la Dirección Central de Monitoreo del Clima, la Dirección de Servicios Sectoriales y la Oficina de Proyectos del SMN. Todo el proceso de trabajo se llevó a cabo entre septiembre de 2019 y marzo de 2020, cuyo entregable fue una lista consensuada de umbrales para cada región. Cabe aclarar que dicha lista estará sometida a un continuo proceso de evaluación, motivo por el cual podría sufrir actualizaciones.

Con el objetivo de integrar los conocimientos y perspectivas de las distintas áreas de trabajo del SMN en la definición de los umbrales, el proceso de trabajo tuvo cuatro grandes instancias:

- 1- **Definición de umbrales por la DPTyA:** se tomaron como punto de partida los umbrales ya definidos en la oficina de pronóstico.
- 2- **Definición de umbrales por Climatología:** se definieron nuevos umbrales para cada región a partir de la climatología utilizando una metodología diferente a la del punto 1.
- 3- **Comparación de alertas:** se realizó una comparación de los alertas emitidos durante enero y febrero de 2020 utilizando ambos conjuntos de umbrales.
- 4- **Integración de los resultados obtenidos en 1, 2 y 3:** obtención de los valores de umbrales por variable, región y nivel de alerta.

3. RESULTADOS

A continuación se detallan el análisis realizado y los resultados obtenidos en cada una de las instancias de trabajo descritas en la sección anterior.

3.1 Umbrales definidos por DPTyA

Se utilizó la información proveniente de las estaciones meteorológicas del SMN para el período 1961-2014 en las variables lluvia diaria y viento para calcular los valores de percentiles 90, 95 y 99, para cada estación, para cada mes. Los valores obtenidos a partir de estos cálculos fueron adaptados en base a la experiencia de la oficina de pronóstico, las cuales se presentan a continuación.

3.1.1 Umbrales para lluvia

Como punto de partida se determinó un grupo de estaciones para cada región indicada en la Figura 3, y se calcularon los valores medios de los respectivos percentiles 90, 95 y 99 en la variable lluvia para cada grupo de estaciones. El promedio se realizó para los meses de enero, abril, julio y octubre, como representativos de cada estación del año. De los cuatro meses evaluados se adoptaron los valores correspondientes al más lluvioso, los cuales luego se redondearon a los múltiplos de 5 más cercanos.

De la información obtenida, se observó que los valores correspondientes al alerta rojo se ubicaban entre los 70 mm y los 100 mm en 24 hs en el centro y norte del país. Dichos valores no son raros de encontrar en cartas pronosticadas de lluvia en 24 hs en áreas más extensas, por lo tanto, puede deducirse que en situaciones de este tipo habría emisión de alerta rojo demasiado seguido. Por otro lado, los valores obtenidos para el alerta amarillo en la región de la Llanura Chaco Pampeana rondaban entre los 30 mm y los 50 mm. Esto implica por ejemplo que la diferencia entre el alerta amarillo y el alerta rojo con los valores hallados en la provincia de Buenos Aires es de apenas 40 mm (30 mm para el amarillo y 70 mm para el rojo). Este rango es demasiado estrecho para poder discernir en un pronóstico el nivel de alerta.

Por lo expuesto anteriormente se considera que el umbral hallado para el valor rojo debe ser más elevado, y se propone que pueda asemejarse a un valor extremo (sin necesariamente coincidir con el mismo pero al menos ubicarse cerca del mismo), dado que el alerta rojo está pensado para eventos con potencial de

producir emergencias o desastres. Por este motivo se consideraron los valores extremos de cada estación y se realizó un promedio entre las estaciones que componen cada región.

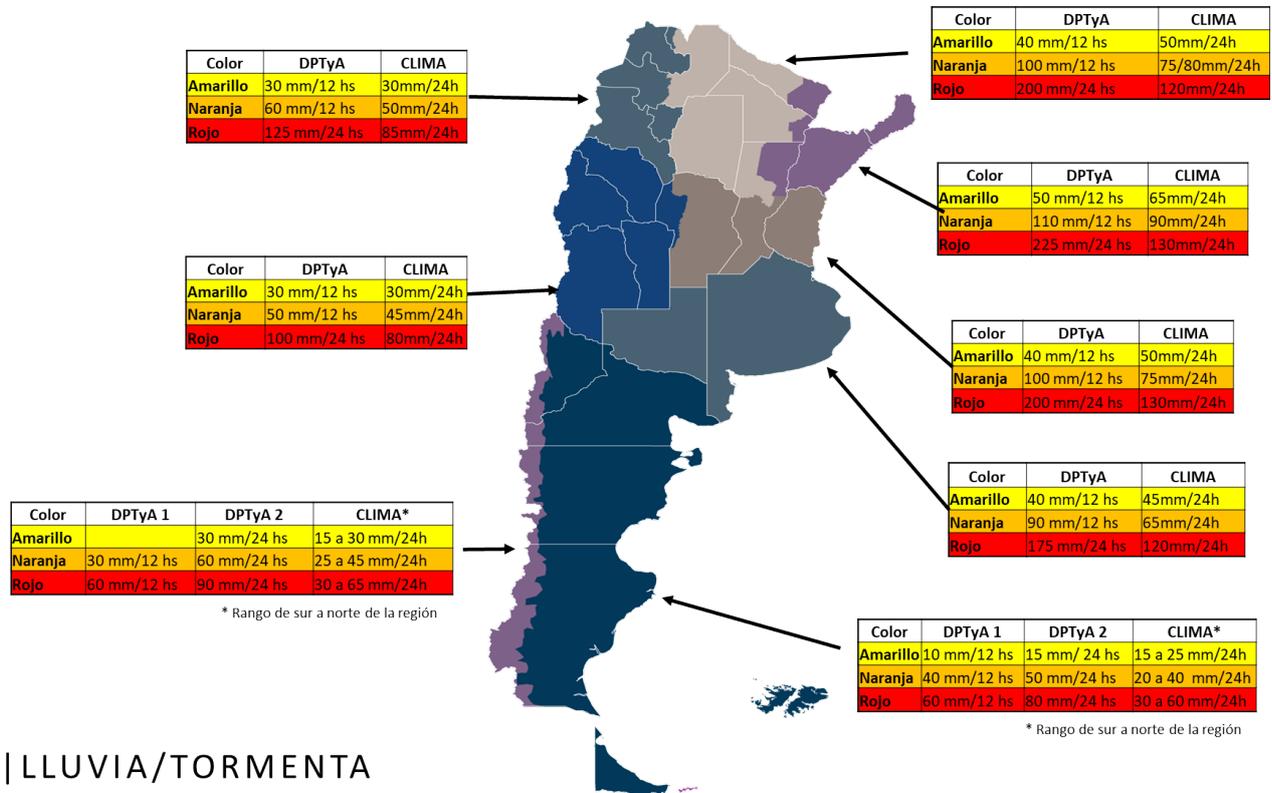
Dicho corrimiento de valores del alerta rojo también permitió que el umbral naranja se moviera hacia valores más altos, dado que los valores hallados previamente tampoco permitían discernir fácilmente con respecto del umbral amarillo. Se consideró entonces mover el valor del alerta naranja al percentil 99. De esta manera se podría discernir entre un evento que puede representar un riesgo (alerta amarillo), un evento que va a ser particularmente intenso (alerta naranja), y un evento que tiene el potencial de generar una emergencia o desastre (alerta rojo).

Otra consideración que vale la pena remarcar es que por experiencia, no existe el mismo potencial de impacto de un evento asociado a un sistema convectivo de mesoescala que descarga la lluvia en pocas horas, que el de un evento asociado a una ciclogénesis, donde la componente de lluvia estratiforme es más dominante y se dan en lapsos temporales más largos. Por ejemplo, dados dos eventos de 70 mm, uno asociado a un sistema convectivo de mesoescala que precipita en 3 horas o menos y otro asociado a una ciclogénesis cuya precipitación se da en un lapso de 12 o 18 horas, es más probable que se generen mayores impactos en el primero.

Teniendo esto último en cuenta, se agrega otra particularidad a los umbrales y es que son variables según la duración del evento. Por este motivo, se decidió utilizar un periodo de 12 horas para los umbrales amarillo y naranja y dejar el rojo en lapsos de 24 horas. Lo ideal sería poder evaluar umbrales en valores acumulados horarios, pero no se dispone de información suficiente para hacer una climatología en estos lapsos de tiempo y, al mismo tiempo, los pronósticos de lluvia horaria provenientes de modelos numéricos tienen un margen de error mayor.

Finalmente, en estos umbrales se toman en cuenta los resultados hallados en el trabajo de Anaya y otros (2020), en el cual analizan impactos de eventos de lluvia en la región Patagónica y sugieren modificaciones a los umbrales planteados previamente para esta región. Por este motivo para dicha región tenemos dos valores diferentes de umbrales para cada nivel dependiendo de la extensión temporal del evento, ya sea 12 o 24 horas.

Como resultado del procedimiento descrito se obtienen los umbrales para lluvia propuestos por el DPTyA que se observan en la Figura 4, en las columnas que hacen referencia al DPTyA.



LLUVIA/TORMENTA

Fig. 4: umbrales de precipitación propuestos por DPTyA y CLIMA para los niveles de alerta amarillo, naranja y rojo determinados para cada región.

3.1.2 Umbrales para viento

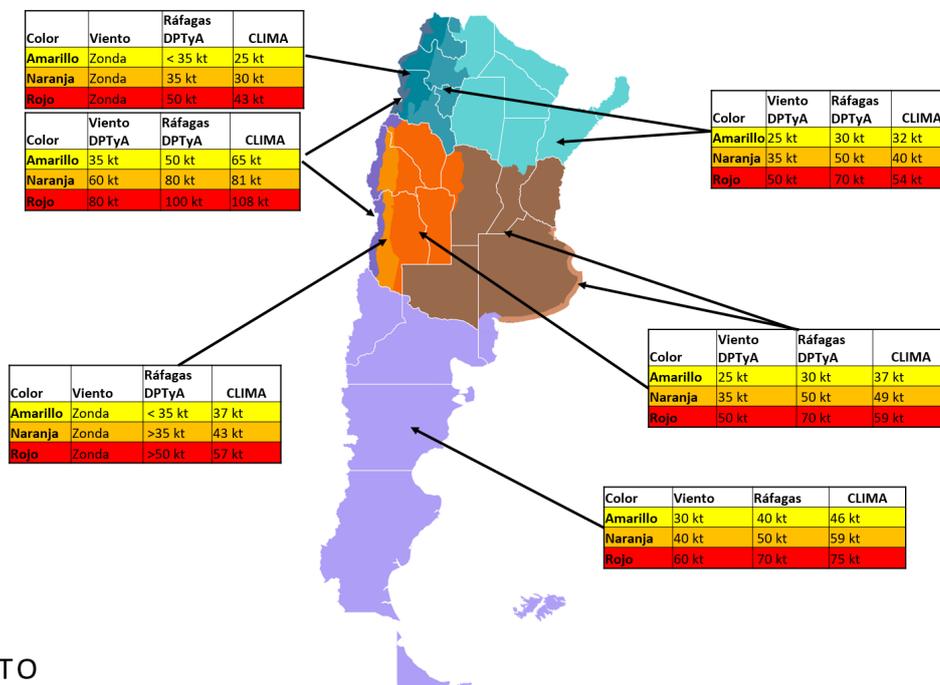
Para el establecimiento de los umbrales de viento se adoptó un procedimiento similar al de lluvia. Se calcularon los valores de los percentiles 90, 95 y 99 para las estaciones de las diferentes regiones y se tomó un promedio entre las diferentes estaciones de cada región. Luego se aproximó los niveles amarillo, naranja y rojo, respectivamente, aproximando a múltiplos de 5 más cercanos. Cabe destacar que para esta variable en particular ya existían previamente umbrales para decidir la emisión de alertas meteorológicas de forma operativa, por lo que los valores propuestos incluyeron además esta información. En particular, los valores de alerta amarillo adoptados originalmente son de 30 kt para la Patagonia y las áreas cordilleranas, y de 25 kt para el resto del país.

De esta manera, se adoptaron los umbrales previamente establecidos para el nivel amarillo, sumando los calculados en base a los percentiles 95 y 99 para los niveles naranja y rojo, respectivamente. Sin embargo, cabe destacar que las series de datos utilizadas no discriminan entre viento sostenido máximo o ráfaga máxima, mientras que en el pronóstico suelen considerarse tanto el viento sostenido como las ráfagas a la hora de emitir un alerta meteorológico. Teniendo en cuenta que los valores calculados de percentiles es más probable que provengan de la intensidad de las ráfagas, se adoptaron los valores calculados de los percentiles a las ráfagas para los 3 niveles. Los umbrales para el viento sostenido se aproximaron a valores

entre 10 y 20 kt menores al correspondiente a las ráfagas en los niveles naranja y rojo, mientras que en el nivel amarillo se conservaron los utilizados previamente en la oficina de pronóstico.

Un último punto a destacar es que los alertas por viento se determinan ante fenómenos de escala sinóptica asumiendo una duración mínima de por lo menos 2 horas. Para eventos de vientos intensos asociados a tormentas fuertes o severas cuya duración suele ser menor a las 2 horas, las mismas quedan comprendidas en los alertas por tormenta.

De esta manera se obtienen los umbrales para viento propuestos por el DPTyA que se observan en la Figura 5 en las columnas que hacen referencia al DPTyA.



| VIENTO

Fig. 5: umbrales de viento propuestos por DPTyA y CLIMA para los niveles de alerta amarillo, naranja y rojo determinados para cada región.

3.2 Umbrales definidos por Climatología

Se utilizó la información proveniente de las estaciones meteorológicas del SMN en el período 1961-2014 para la variable lluvia, y en el período 2001 - 2018 para la variable viento diario máximo, para calcular los valores de percentiles 90, 95 y 99. Cada percentil corresponde al nivel de alerta amarillo, naranja y rojo respectivamente.

3. 2.1 Umbrales para lluvia

Para la determinación de los umbrales puramente climatológicos se tuvieron en cuenta los datos de precipitación diaria (en 24 horas) de todas las estaciones meteorológicas del país en el periodo 1961 - 2014. Se calcularon los percentiles 90, 95 y 99 para asociarlos a cada nivel de alerta (amarillo, naranja o rojo respectivamente). En una primera instancia se analizaron dichos valores para cada mes del año. Debido a que el sistema de alerta requiere un único umbral para cada nivel de alerta y por cada región, los umbrales se fueron ajustando según algunas consideraciones.

En primer lugar, de los percentiles mensuales se identificaron aquellos más altos, que en general corresponden a los meses más lluviosos. De esta manera cada estación meteorológica se identificó con un solo valor para cada percentil (90, 95 y 99) o posible nivel de alerta (amarillo, naranja o rojo) para todo el año. Estos valores se muestran en la Figura 6.

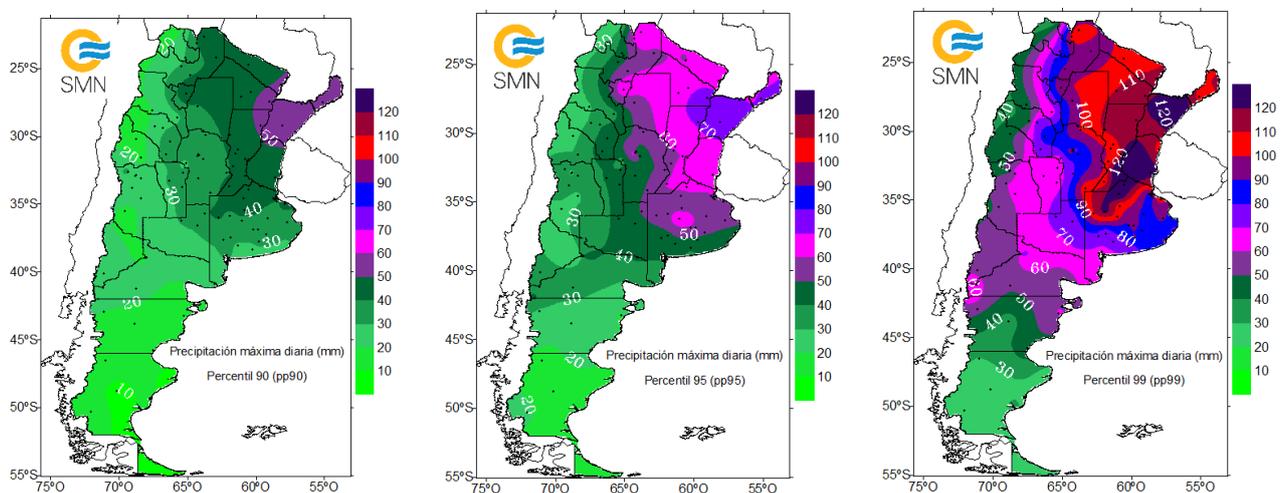


Fig. 6: valores climatológicos de precipitación correspondientes al percentil 90 (izquierda), percentil 95 (centro) y percentil 99 (derecha).

El siguiente paso consistió en ajustar estos valores para un número acotado de regiones, las cuales corresponden a las identificadas en la Figura 3 para lluvia. Para abordar este objetivo, se consideró graficar la información desde un punto de vista diferente al presentado en la Figura 6. En lugar de visualizar los valores de precipitación según percentil, se visualizan los percentiles según el valor de precipitación (Figura 7), donde el amarillo corresponde al percentil 90, el naranja al percentil 95 y el rojo al percentil 99. De esta manera se obtiene un mapa asociado a los tres niveles de alerta propuestos para cada valor de precipitación. A modo de ejemplo en la Figura 7 se presentan los mapas correspondientes a los umbrales de 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80 mm, 100 mm y 120 mm.

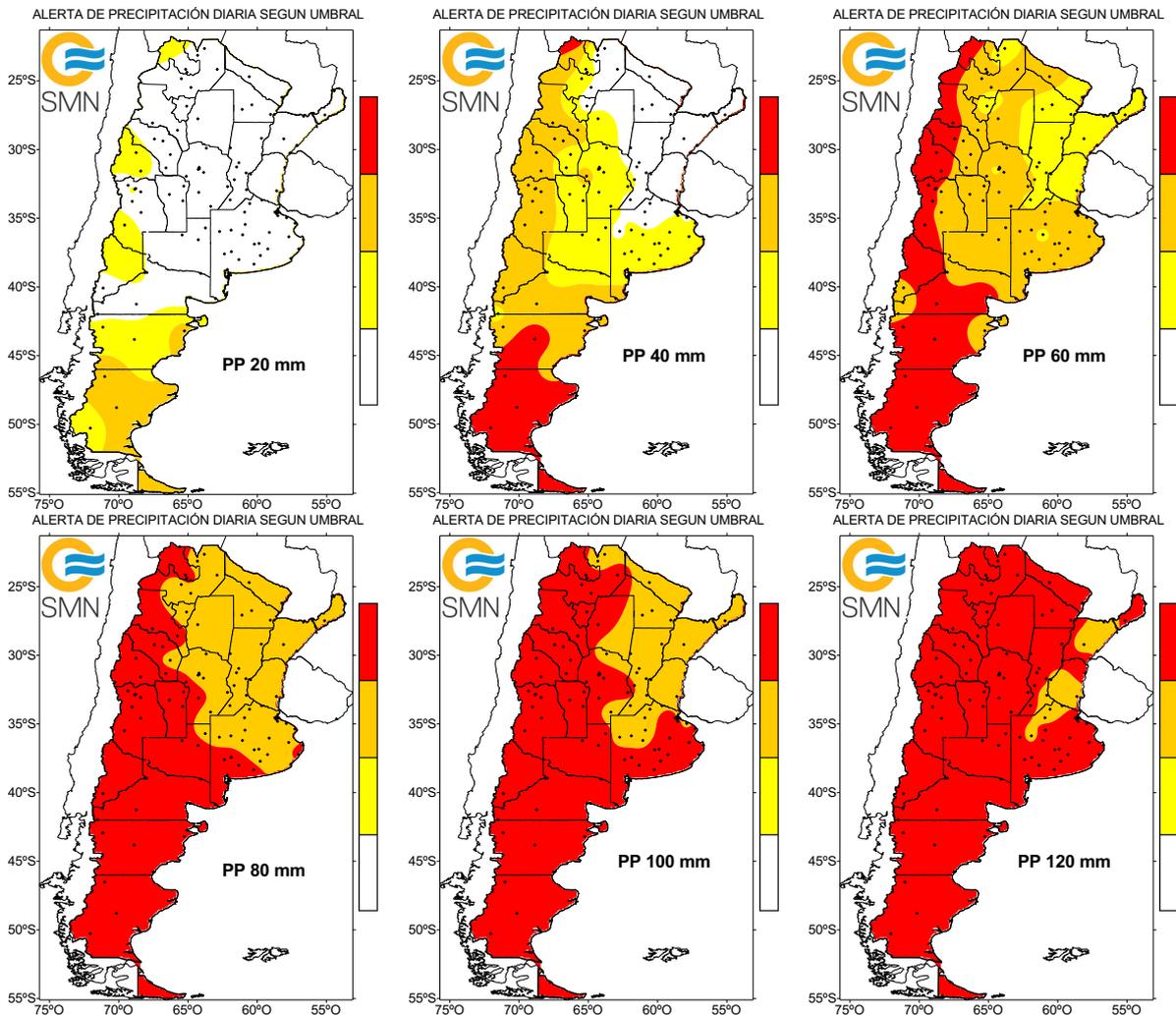


Fig. 7: ejemplo de visualización del nivel de alerta climatológico correspondiente (amarillo, naranja o rojo) según valor de precipitación diaria. Donde amarillo corresponde al percentil 90, naranja al percentil 95 y rojo al percentil 99.

Por último, se procedió al análisis de los mapas de nivel de alerta para cada umbral de precipitación, superponiéndolos con las regiones de la Figura 3. De esta manera se identificaron visualmente los valores de precipitación que mejor representaban un determinado nivel de alerta en toda la región. Aquí cabe destacar que no siempre se pudo identificar un único valor que cubriera toda el área para un solo nivel de alerta (es decir, de un solo color), en cuyo caso se optó por el valor que cubriera la mayor parte del área.

A modo de ejemplo, en la Figura 8 se observa que el valor de 75 mm corresponde al percentil 95 (nivel de alerta naranja) para las regiones centro – norte, noreste y norte, mientras que en las regiones noroeste, centro – oeste y centro – sur se encuentra entre el percentil 95 y 99 (alertas naranja y rojo) según la zona.

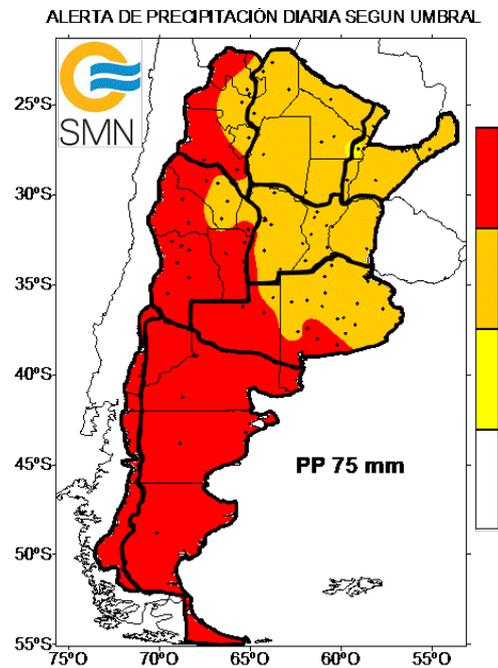


Fig. 8: ejemplo de visualización del nivel de alerta para el valor de precipitación diaria de 75 mm en superposición con las regiones utilizadas para la variable lluvia. Donde amarillo corresponde al percentil 90, naranja al percentil 95 y rojo al percentil 99.

Como resultado del procedimiento descrito se obtienen los umbrales para lluvia propuestos por Climatología que se observan en la Figura 4, en las columnas que hacen referencia a CLIMA.

3.2.2 Umbrales para viento

Para la determinación de los umbrales de viento se utilizaron los datos de viento máximo diario y/o ráfaga máxima diaria de las estaciones meteorológicas con plan de labor preferentemente de H-24. Cabe destacar que las series de datos utilizadas no discriminan entre viento sostenido máximo o ráfaga máxima. Se descartaron aquellas que no tenían suficientes registros horarios o con planes de labor reducidos (ej: sin mediciones nocturnas). El período de datos considerado fue 2001-2018, por ser el período disponible con información consistida y confiable para esta variable.

Se calcularon los percentiles mensuales y anuales para cada estación. Debido a que los percentiles anuales resultaron ser relativamente bajos, según acuerdo entre los integrantes del grupo de trabajo, se procedió a considerar los máximos percentiles mensuales de cada localidad. En primera instancia, se visualizaron los mapas correspondientes a los valores de viento máximo diario según el percentil 90, 95 y 99 (Figura 9).

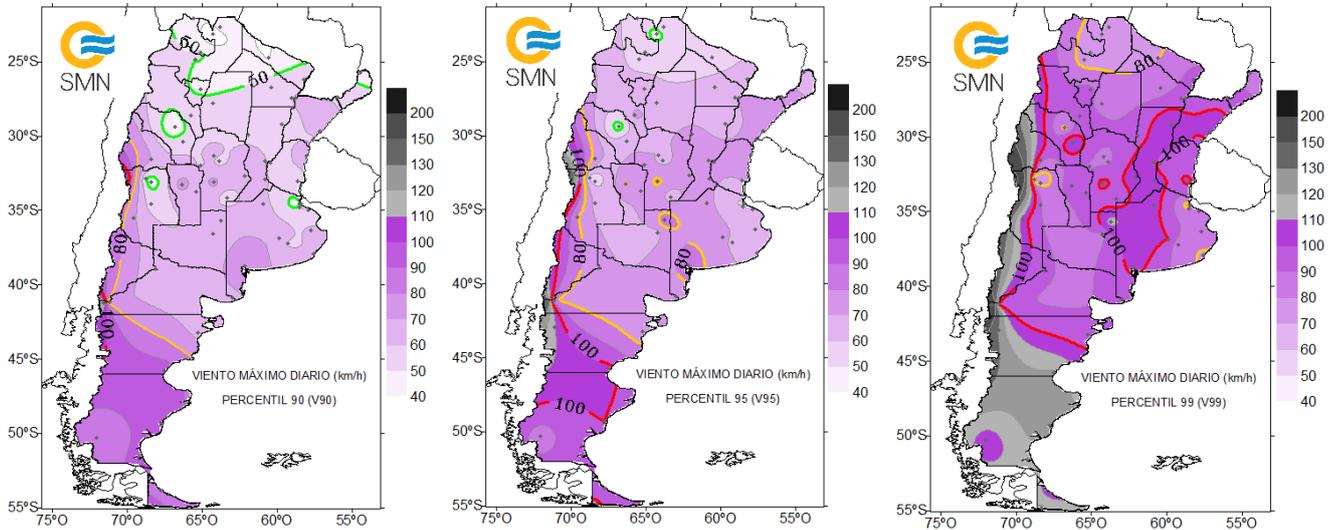


Fig. 9: valores climatológicos de viento máximo diario (Km / h) correspondientes al percentil 90 (izquierda), percentil 95 (centro) y percentil 99 (derecha).

De forma análoga al procedimiento realizado con la variable precipitación, se fijaron distintos valores de intensidad de viento para identificar los niveles de alerta según los percentiles ya calculados. A modo de ejemplo en la Figura 10 se presentan los mapas correspondientes a las siguientes intensidades de viento: 50 km/h, 70km/h, 90km/h, 100km/h, 110km/h y 120 km/h.

Por último, se analizaron los mapas de nivel de alerta para cada umbral de viento en superposición con las regiones definidas para el alerta de vientos fuertes. Este procedimiento permitió determinar visualmente los umbrales climatológicos que mejor representarían a la totalidad de la región, según cada caso. De manera análoga a lo sucedido con la variable precipitación, no siempre se pudo identificar un único valor que cubriera toda el área para un solo nivel de alerta, en cuyo caso se eligió el valor que cubriera la mayor parte del área.

Como resultado del procedimiento descrito se obtienen los umbrales para viento propuestos por Climatología que se observan en la Figura 5, en las columnas que hacen referencia al CLIMA.

Hasta este punto se dispone de dos propuestas de umbrales para cada región (Figuras 4 y 5), ambos partiendo de información climatológica, aunque habiendo realizado distintos cálculos y distintas consideraciones según la experiencia de cada grupo de trabajo.

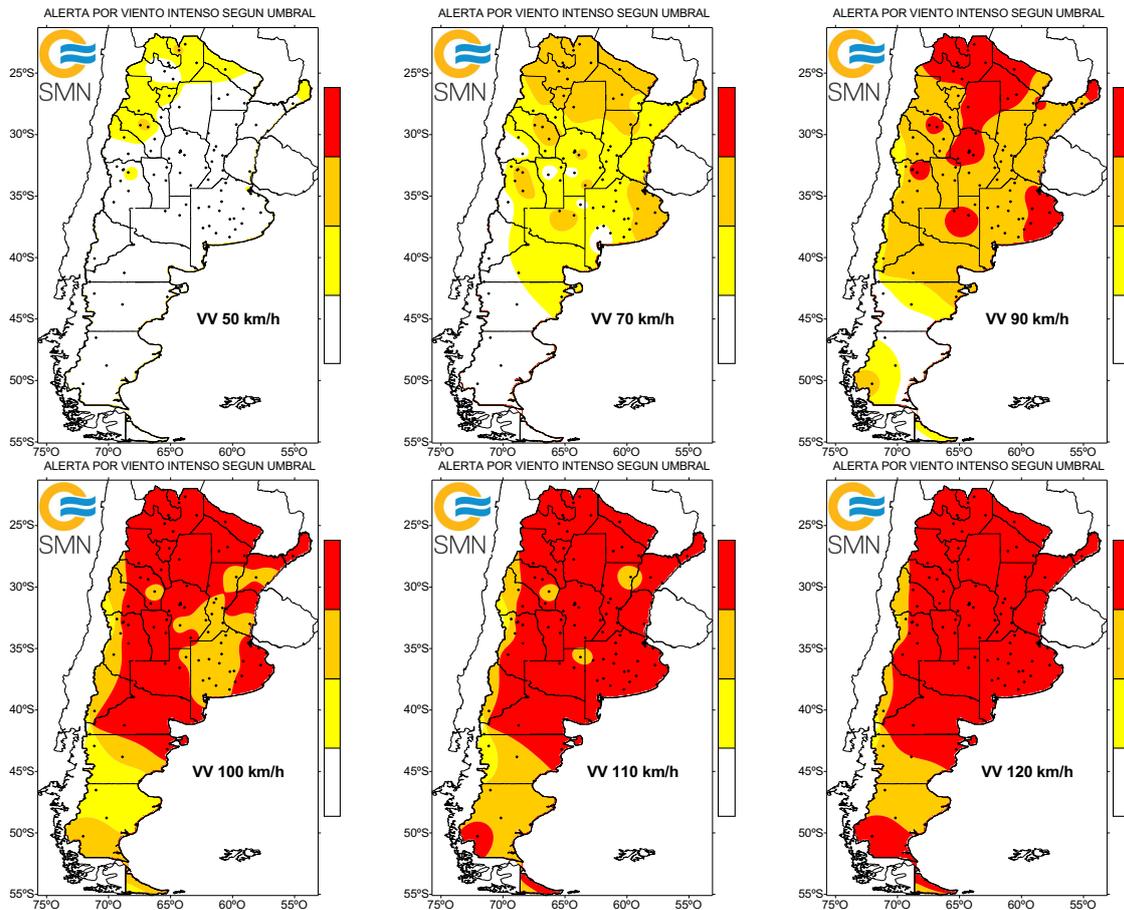


Fig. 10: ejemplo de visualización del nivel de alerta climatológico correspondiente (amarillo, naranja o rojo) según valor de viento máximo diario. Donde amarillo corresponde al percentil 90, naranja al percentil 95 y rojo al percentil 99.

3.3 Comparación de alertas emitidos para diferentes umbrales

Para los fines de este trabajo se llevó a cabo la comparación de un conjunto de alertas emitidos en forma experimental por la oficina de pronóstico en enero y febrero de 2020 discriminados según los distintos niveles de riesgo (amarillo, naranja o rojo) y teniendo en cuenta los umbrales propuestos por DPTyA y CLIMA. Es decir, se tomaron un conjunto de alertas y se clasificaron por nivel según los umbrales propuestos en las Figuras 4 y 5. Cabe destacar que estas alertas fueron realizadas tomando en consideración la información previa proveniente de modelos numéricos de pronóstico. Es decir, se compararon alertas generados en condiciones reales.

En enero y febrero de 2020 se realizaron un total de 34 alertas, todos por eventos de tormenta. En particular se hizo foco en el umbral de lluvia acumulada. Comparando la cantidad de alertas emitidas para cada color según cada grupo de umbrales propuesto, se observa que utilizando los umbrales de CLIMA se emitieron una mayor cantidad de alertas naranjas, mientras que en el nivel amarillo predominan las alertas con umbrales del DPTyA.

Finalmente en el caso del nivel rojo se emitió un alerta considerando los umbrales de DPTyA, mientras que con los umbrales de CLIMA se emitieron 5 alertas rojas en este período. Este último resultado evidencia que la emisión de dicha cantidad de alertas rojas en tan sólo 8 semanas es excesiva, teniendo en cuenta que este color está reservado para potenciales desastres.

3.4 Integración de los resultados obtenidos en 3.1, 3.2 y 3.3

A partir de la información analizada en los puntos precedentes se definieron los valores umbrales para los diferentes fenómenos. A continuación se especifican las decisiones adoptadas en cada caso.

3.4.1 Umbrales para lluvia / tormenta

A partir de la comparación entre los umbrales propuestos por DPTyA y CLIMA se observó en líneas generales que los umbrales para alerta amarillo tienden a coincidir en ambos cálculos, más no así los valores naranja y rojo. A modo de ajuste, y en base a los resultados obtenidos en la sección 3.3, se disminuyeron los valores del umbral naranja de DPTyA a uno más cercano al propuesto por CLIMA, tomando el lapso de 12 horas. Para los valores del nivel rojo se conservaron los propuestos por DPTyA por estar asociados a extremos y en base a la comparación de alertas de la sección anterior.

Como resultado de estas consideraciones se obtienen los umbrales consensuados para lluvia que se observan en la Figura 11.

Para definir un alerta por tormenta, se pone en consideración dos componentes: el monto de lluvia que provocan utilizando los umbrales mencionados, y su potencial de provocar ráfagas y caída de granizo. Para esta segunda componente se utiliza la definición de tormenta severa adoptada por diferentes servicios meteorológicos como por ejemplo el de Estados Unidos (https://www.weather.gov/bmx/outreach_svr) o el Bureau de Meteorología de Australia (<http://www.bom.gov.au/weather-services/severe-weather-knowledge-centre/severethunder.shtml>). De acuerdo a esta definición, una tormenta se considera severa si produce al menos uno de los siguientes fenómenos:

- Granizo de diámetro de 2,5 cm o más
- Ráfagas de 25 m/s (50 kt) o más
- Tornados

Teniendo en cuenta esta definición, se determina que a las tormentas severas les corresponde el nivel naranja o rojo. De esta manera, definimos los niveles de alerta a partir de la severidad potencial de las tormentas según el siguiente criterio:

- Si las tormentas generan granizo de diámetro menor a 2.5 cm y ráfagas menores a 90 km/h, se consideran tormentas fuertes, correspondiendo el nivel amarillo.
- Si las tormentas son capaces de generar granizo de diámetro mayor a 2.5 cm o ráfagas de más de 90 km/h se las considera tormentas severas, correspondiendo el nivel naranja.

- El nivel de alerta rojo se pondrá a consideración en caso de que un evento convectivo pueda tener potencial de generar numerosos tornados en una dada región (por ejemplo el evento de la provincia de Buenos Aires de abril de 1993).

Cabe destacar que aun en un evento de alerta por tormentas fuertes (que corresponde a nivel amarillo) podrían darse tormentas severas, aunque las mismas se darían en forma aislada y puntual. Si por el contrario las tormentas severas fueran generalizadas correspondería la emisión de un alerta por tormentas de nivel naranja.

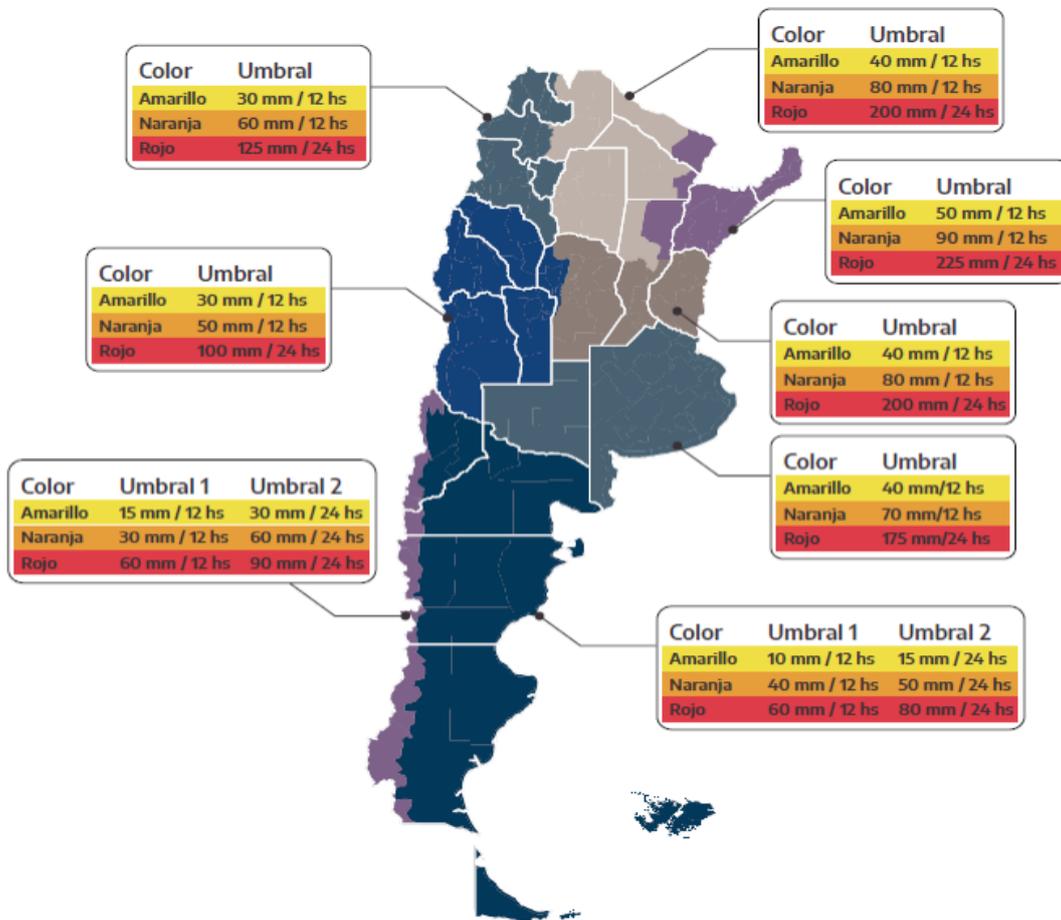


Fig. 11: umbrales de intensidad de lluvia consensuados para los niveles de alerta amarillo, naranja y rojo.

3.4.2 Umbrales para viento / Zonda

Para el establecimiento de los umbrales de alerta por viento se tuvo en consideración que para la emisión de los alertas meteorológicos se toma en cuenta tanto el valor de la intensidad del viento sostenido como de las ráfagas, razón por la cual se adoptan dos valores en los umbrales.

Por otro lado se consideró que de la información brindada por CLIMA gran parte de los valores se corresponderían con ráfagas más que con viento sostenido. Por este motivo para las ráfagas se adoptaron los valores brindados por CLIMA, mientras que en el de viento sostenido se adoptaron valores de alrededor de 5 a 10 kt menos que en las ráfagas (salvo en los alertas rojos y en la región cordillerana).

También se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en la verificación de alertas realizada por Lopez Amarin en el transcurso de 2019 en el cual se detectó una gran cantidad de alertas por viento sin impactos asociados. Por este motivo también se decidió elevar el umbral de alerta amarillo en 5 kt tanto en viento sostenido como en las ráfagas en todo el país.

Para la región de cordillera desde los 38°S hacia el norte se adoptaron los valores de CLIMA con las ráfagas y a la vez se elevaron entre 5 kt y 10 kt los valores de viento sostenido con respecto a los valores previamente establecidos. En este caso la diferencia entre viento sostenido y ráfagas es del orden de 20 kt. Lamentablemente la cobertura de datos en esta región es muy escasa como para poder establecer umbrales más robustos. Asimismo se considera el viento al nivel de los pasos internacionales, tomando el nivel de 700 hPa en la provincia de Mendoza, y el de 600 hPa desde la provincia de San Juan hacia el norte.

En el caso de viento Zonda se adoptaron los umbrales definidos por Norte (1988), que considera la intensidad del evento según la intensidad de las ráfagas. Los eventos Zonda se dividen en 4 categorías: Z1, Z2, Z3, y Z4. Los niveles de alertas corresponden a los siguientes:

- Amarillo: Z1 (evento Zonda con ráfagas de hasta 35 kt)
- Naranja: Z2 (evento Zonda con ráfagas de entre 35 y 50 kt)
- Rojo: Z3 y Z4 (evento Zonda con ráfagas superiores a los 50 kt)

Como resultado de estas consideraciones se obtienen los umbrales consensuados para viento y Zonda que se observan en la Figura 12.

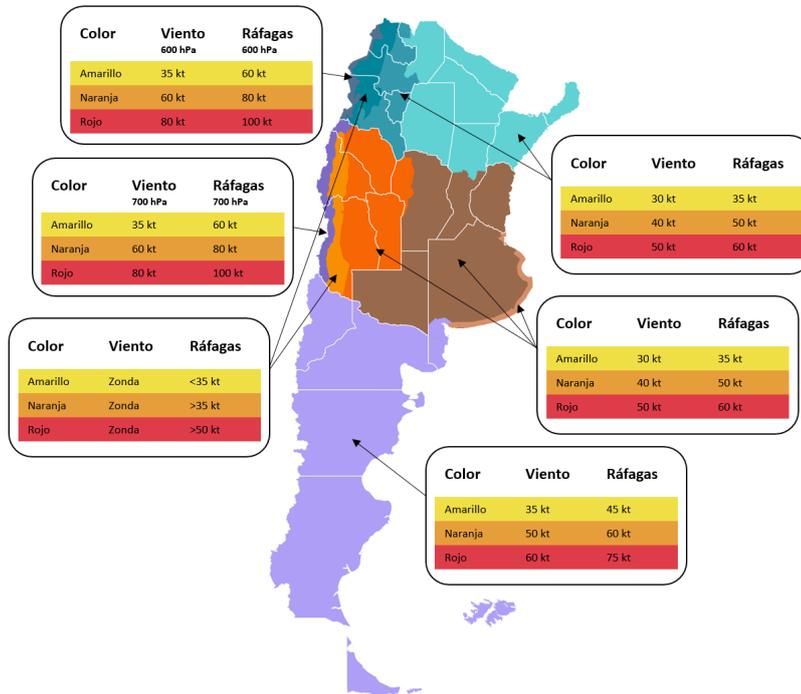


Fig. 12: umbrales de viento consensuados para los niveles de alerta amarillo, naranja y rojo.

3.4.3 Umbrales para nieve

En este caso la información disponible de altura de nieve de la red de estaciones del SMN es prácticamente nula. Sólo se tiene registros de eventos particulares, con información derivada de observaciones especiales. Por este motivo se utiliza un factor de equivalencia que relaciona la altura de la nieve acumulada con el equivalente en lluvia (esto es, la cantidad de mm que se obtendría si derretiéramos la nieve acumulada). Por ejemplo, dado un factor de 10, un equivalente en lluvia de 50 mm nos daría una altura de nieve de 50 cm.

Dicho factor de equivalencia es altamente variable dependiendo de cuán fresca es la nieve y del tipo de cristal o hábito cristalino que la compone (lo cual está relacionado con la temperatura a la cual se forma el copo de nieve). En general para la nieve recién caída el factor de equivalencia puede variar entre 10 y 25. Para más detalles se puede consultar las mediciones empíricas de Dubé (2003). Por lo tanto, como primera estimación se adoptan los umbrales de lluvia definidos anteriormente y se asume una equivalencia de 10 para la acumulación de nieve en la región patagónica y un factor entre 15 y 20 para la cordillera de Cuyo y el NOA, asumiendo que las temperaturas a la que se producen las precipitaciones níveas son menores en esta región y por lo tanto por los hábitos cristalinos predominantes corresponden factores más altos.

En este caso no se diferencia en períodos de 12 o 24 horas, dado que la nieve se acumula y no escurre como el caso de la lluvia. Por otro lado, en las regiones llanas en la Llanura Chaco Pampeana donde la nieve es un fenómeno poco frecuente, se asume que a un evento de nieve con acumulación corresponde un alerta amarillo.

Como resultado de estas consideraciones se obtienen los umbrales para nieve que se observan en la Figura 13.

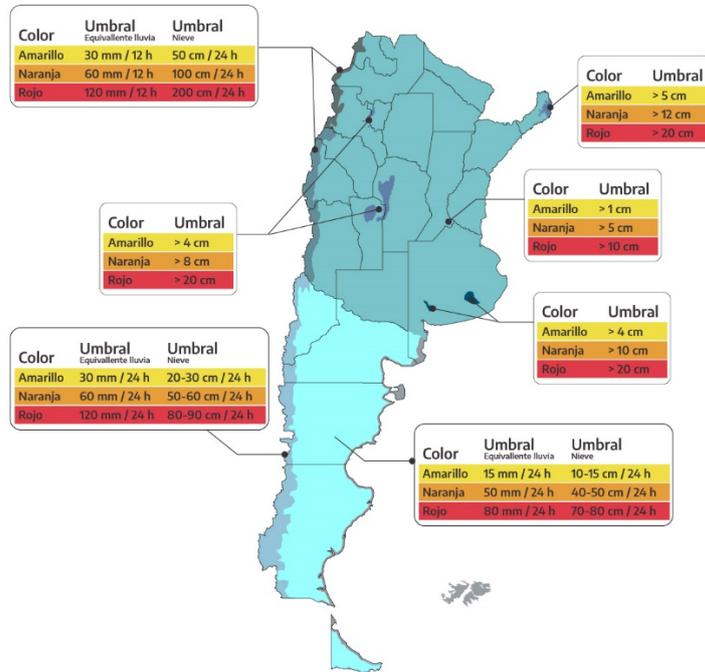


Fig. 13: umbrales de nevadas definidos para los niveles de alerta amarillo, naranja y rojo.

4. CONCLUSIONES

Dentro del marco de la implementación de un nuevo Sistema de Alertas en el SMN, este trabajo tiene como objetivo definir umbrales meteorológicos por regiones, los cuales son uno de los elementos necesarios que forman parte de la toma de decisión para definir el nivel de alerta amarillo, naranja y rojo. Dichos umbrales se definieron para los eventos de lluvia / tormenta, viento / Zonda y nevada.

En particular, para llevar a cabo la definición de los umbrales para las variables lluvia y viento se formó un grupo de trabajo interdepartamental integrado por diversas áreas del SMN. El proceso de trabajo involucró la utilización de percentiles climatológicos y valores extremos, combinados con un análisis preliminar de información de impacto y consideraciones relacionadas a la experiencia de la oficina de pronóstico, así como también de experiencias locales. Se trabajó con dos propuestas de umbrales por región, una realizada por la Dirección de Pronósticos del Tiempo y Avisos (DPTyA), y la otra por la Dirección Central de Monitoreo del Clima (DCMC) y Dirección de Servicios Sectoriales (DSS). Dichos umbrales fueron evaluados en las alertas emitidas durante enero y febrero de 2020, en conjunción con el análisis de la información de impacto disponible.

Como resultado final se obtuvo un conjunto de umbrales a utilizar al momento de la implementación del nuevo sistema de alerta. Los umbrales para cada una de las variables están ajustados a las regiones geográficas. Cabe aclarar que dicha lista estará sometida a un continuo proceso de evaluación basado en las verificaciones, motivo por el cual podrían sufrir actualizaciones. A continuación se presenta un resumen de las consideraciones realizadas en la definición de los umbrales para cada variable.

Lluvia

- Los valores amarillos son los definidos por DPTyA, que tienen gran coincidencia con los de CLIMA y se aproximan al percentil 90.
- Con respecto a los valores del umbral de alerta naranja se tomaron los sugeridos por CLIMA. En general estos valores son aproximadamente del doble de los correspondientes al color amarillo.
- Para los umbrales de alerta rojo se conservaron los valores de DPTyA, dado que son característicos de situaciones extremas, lo cual evita emitir una excesiva cantidad de alertas en este nivel
- Un detalle importante a tener en cuenta es que se asume que el impacto aumenta en la medida que la lluvia precipita en períodos cortos de tiempo. Por este motivo, para los umbrales de alerta amarillo y naranja se tomaron lapsos de hasta 12 horas, dejando el de alerta rojo en lapsos de 24 horas.

Viento

- Los umbrales tomados son los de CLIMA, los cuales se asociaron con las ráfagas para cada color y región.
- Para la región comprendida por la Llanura Chaco – Pampeana, la Mesopotamia Argentina y las regiones llanas de Cuyo y el Noroeste –, los valores de umbral se elevaron 5 kt en los colores amarillo y naranja. Esta corrección se realizó tomando en cuenta las verificaciones de alerta de 2019.
- Para la Patagonia, los valores de umbral se elevaron 5 kt para el color amarillo y 10 kt para el color naranja. Esta corrección se realizó tomando en cuenta las verificaciones de alerta de 2019.
- Para las alertas por Viento Zonda se tomaron los criterios adoptados por el IANIGLA y estudios de Norte (1988), donde se categorizan los eventos de Viento Zonda según la intensidad las ráfagas que producen.

Nieve

- Los umbrales adoptados son los mismos que los de lluvia para la región patagónica y la cordillera, con la salvedad que están definidos tanto para el equivalente en lluvia como el monto acumulado de nieve considerando únicamente un lapso de 24 horas dado que la nieve se acumula, a diferencia de la lluvia que escurre.
- Con respecto a la relación entre la altura de nieve acumulada y el monto de lluvia equivalente se asume un factor 10 a 1 (i.e: 1 cm de nieve recién caída es equivalente a 1 mm de lluvia) en la región patagónica y un factor entre 15 y 20 a 1 para la cordillera de Cuyo y el NOA.
- En las serranías de Córdoba, Tucumán, Tandilia, Ventania y Misiones los valores son los de los umbrales de lluvia, tomando el criterio de lluvia y asumiendo un factor de equivalencia de 10 a 1.

- En zonas bajas de los dominios Llanura y Cordillera dado que se trata de un fenómeno poco frecuente se toma el mero hecho de caída de nieve con acumulación como un riesgo para la población y a priori se asume el nivel amarillo.

Contribución de los Autores

Los autores se presentan ordenados alfabéticamente, con la excepción del primer autor, quien lideró el proyecto en su desarrollo conceptual y metodológico. Carolina Gisele Cerrudo y José Luis Stella fueron los responsables de la escritura de la nota.

Marcos Saucedo: desarrollo conceptual y metodológico general, análisis de datos y resultados, contribución a la redacción de las secciones: introducción, datos y metodología, umbrales definidos por DPTyA, comparación de alertas, e integración de los resultados obtenidos.

Claudia Campetella: coordinadora general del proyecto. Asesora y revisora general de la nota.

Alicia Cejas: contribución desarrollo conceptual y metodológico de las secciones: umbrales definidos por DPTyA, comparación de alertas, e integración de los resultados obtenidos. Análisis de datos y resultados.

Carolina Cerrudo: contribución al desarrollo conceptual y metodológico de la sección umbrales definidos por climatología, procesamiento de datos y análisis de resultados. Adaptación de figuras, escritura y edición general del documento.

Ignacio López Amorín: contribución al desarrollo conceptual y metodológico de la sección umbrales definidos por DPTyA, procesamiento de datos y análisis de resultados. Contribución a la escritura en la sección umbrales definidos por DPTyA.

José Luis Stella: contribución al desarrollo conceptual y metodológico de la sección umbrales definidos por climatología, procesamiento de datos y análisis de resultados, realización de figuras, contribución a la escritura de las secciones introducción y umbrales definidos por climatología.

Agradecimientos

En especial a Daniela Moreno, cuyo liderazgo fue el motor principal para llevar a cabo todo el proceso y para que la definición de umbrales fuera posible. A Guadalupe Cruz Díaz, por la elaboración de los mapas con las áreas PIMET y sus respectivos umbrales. A Julia Chasco, por su contribución y participación en el desarrollo conceptual del proyecto en general. A Karina Flores, por contribuir en el análisis de los umbrales definidos por climatología, y su aporte en el estudio de intensidades de precipitación a partir de información pluviográfica. Lamentablemente la información pluviográfica no pudo ser considerada en el presente trabajo por falta de cobertura espacial y extensión temporal para hacer una climatología representativa de cada región. A Andrea Portella por su contribución en la validación de alertas y el relevamiento de sus posibles impactos.

REFERENCIAS

Anaya, D., D'Amen, D., Chasco, J., Saucedo, M. 2020: Generación de umbrales meteorológicos para la emisión de alertas en el Servicio Meteorológico Nacional: Lineamientos para avanzar en el pronóstico por impacto. Nota Técnica SMN 2020-69.

Dubé, I. 2003: From mm to cm... Study of snow/liquid water ratios in Quebec. Comet Program disponible en https://www.meted.ucar.edu/norlat/snowdensity/from_mm_to_cm.pdf

Norte, F., 1988: Características del Viento Zonda en la region de Cuyo. Tesis doctoral de la Universidad de Buenos Aires, 262 pp.

Saucedo, M., 2018: Implementación del sistema Meteofactory en el Servicio Meteorológico Nacional. XIII CONGREGMET del 16 al 19 de octubre de 2018, Rosario, Santa Fe, Argentina.

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).