

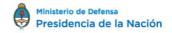
El tratamiento implícito de la incertidumbre en los pronósticos del SMN

Nota Técnica SMN 2021-85

Ramón de Elía¹, Pedro Lohigorry², Daniel Anaya², Juan Martín Guerrieri² y Marcos Saucedo²

¹ Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, SMN

Marzo 2021



² Dirección Nacional de Pronósticos y Servicios para la Sociedad, DPTA, SMN



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

Los estudios sobre incertidumbres en pronósticos meteorológicos suelen limitarse a los problemas explícitos de predictibilidad de ciertas escalas o fenómenos específicos, como así también al tratamiento probabilístico de esta incertidumbre. Esta Nota Técnica apunta a describir las decisiones que deben tomar los pronosticadores --y aquellos que definen el sistema de pronóstico--, que implícitamente afectan el tratamiento que se da a la incertidumbre. Se puede observar que el pronosticador constantemente toma en cuenta la incertidumbre, mismo si a veces lo hace de forma automática. Es por ello que la expansión del uso de pronósticos probabilísticos --estimulada por la disponibilidad de ensambles-- no debe ser realizada ignorando estas condiciones.

Abstract

Uncertainty studies in weather forecasting are usually limited to explicit predictability issues at different scales or specific weather events, as well as its treatment through a probabilistic approach. This Technical Note aims at describing how decisions that forecasters -- and those that define the forecast system-- have to carry out, implicitly affect the way uncertainty is handled. Forecasters are constantly dealing with uncertainty, even though in some cases this is not done in a fully conscious way. This suggests that extending the use of probabilistic forecasting should not be an automatic consequence of the availability of ensembles.

Palabras clave: Pronóstico, incertidumbre, tratamiento no probabilístico

Citar como:

de Elía R., P. Lohigorry, D. Anaya, J. M. Guerrieri, y M. Saucedo, 2021: EL tratamiento implícito de la incertidumbre en los pronósticos del SMN. Nota Técnica SMN 2021-85.





1. INTRODUCCIÓN

En la generación de pronósticos meteorológicos existen diversas maneras de tener en cuenta la incertidumbre asociada, y éstas pueden dividirse en dos categorías esenciales: el tratamiento *implícito* y el *explícito*. El primero refiere a la manera en que a través de diferentes decisiones (voluntarias o no tanto) se puede tratar la presencia de incertidumbre en el pronóstico a diferentes escalas; el segundo refiere al uso de recursos como los intervalos de confianza o las probabilidades, ya sean éstas expresadas numéricamente (como "80% de probabilidades de precipitación") o simplemente a través de palabras ("chances de chaparrones"). Sobre el tema específico de las probabilidades como método explícito para comunicar la incertidumbre se ha escrito mucho, y dentro del SMN se han presentado revisiones del tema en de Elia y otros (2019) y de Elia (2020).

En lo que sigue se discutirá el tratamiento *implícito* de la incertidumbre que se lleva adelante en la producción de pronósticos. Es importante tener en cuenta que los factores principales que obligan a los pronosticadores a volcarse por un tratamiento implícito de la incertidumbre, son las limitaciones de todo tipo a los que se ven sometidos. Estas encuadran su accionar en aspectos que van desde las áreas de incumbencia de cada oficina de pronóstico, las capacidades científico-técnicas, los recursos humanos disponibles, las características geográficas y demográficas del país, así como también hábitos del usuario y del público general.

Para abordar el tratamiento implícito de la incertidumbre se necesita de antemano definir un número de elementos básicos que contribuyen indirectamente con el tratamiento de la incertidumbre en el pronóstico.

2. LA RESOLUCIÓN Y LA PRECISIÓN

Toda variable meteorológica puede ser escrita como función del espacio y del tiempo. Por ejemplo en el caso de la temperatura podemos escribir T=T(x,y,z,t), donde x,y,z refieren a una posición en el espacio, y t a una ubicación temporal. Estas dependencias sugieren que existe un valor de la variable asociado a cada lugar del espacio y a cada instante de tiempo. Naturalmente existen muchas limitaciones a esta visión conceptual ya que no es factible obtener ni un conjunto de observaciones ni pronósticos con tanta riqueza de detalle.

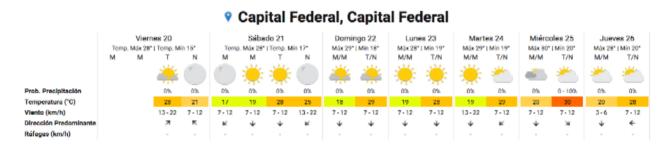
Por esa razón, mismo si escribimos la variable como una función continua del espacio y del tiempo, en realidad estamos pensándola de manera discreta, con una dependencia del tipo

$$T = T(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t), \tag{1}$$

donde las delta indican que las variables espacio-temporales están discretizadas. Éste es el típico primer paso del modelado numérico, pero es también la manera en que siempre se han realizado los pronósticos: éstos refieren generalmente no a un punto, sino a una región determinada, y no a un instante sino a un intervalo de tiempo. Por ejemplo, hoy en el SMN se emite un mensaje al público como el de la Fig. 1 (panel superior), válido para una ciudad o región definida en el programa de carga de pronóstico *Plataforma Integral Meteorológica* (Pimet, ver Anaya y otros 2020), y para un intervalo de tiempo dado que incluso varía con el plazo de pronóstico (cuatro períodos por día --madrugada, mañana, tarde o noche--, para los pronósticos que abarcan los primeros dos días; dos períodos posteriormente, madrugada/mañana y tarde/noche). La definición de discretización y otros términos acá utilizados pueden encontrarse en el Glosario (Apéndice A).







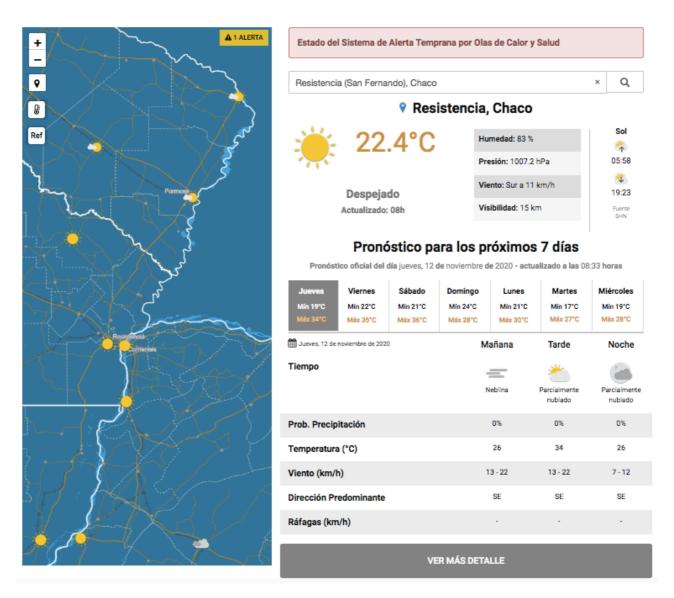


Figura 1: Pronóstico del tiempo de 7 días tomado de la página web del SMN para la Capital Federal (panel superior), y portada del sitio web del SMN con información relacionada con Resistencia (Chaco) y sus alrededores (panel inferior).

Además de esta discretización en el tiempo y espacio, está la <u>segmentación</u> en intervalos o categorías de la variable misma lo cual define la <u>precisión</u> (en inglés se usa el verbo *binning* para designar la operación de separar en diferentes *bins*, muy frecuente en el caso de los histogramas; también se usa *quantization*). En definitiva, la dependencia de la variable sería más correctamente expresada como





$$\Delta T = \Delta T(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t). \tag{2}$$

En el panel superior de la Fig. 1 puede verse que la variable viento, aun siendo de naturaleza continua y trabajada en alta precisión por los modelos (donde pueden existir vientos tan precisos como v= 13,4912 m/s), los pronosticadores prefieren presentarla como un intervalo de valores. Después veremos las varias razones para esta elección.

2.1 Precisión de los pronósticos

La precisión asociada a una variable se la entiende como la cantidad de subdivisiones significativas en la escala de valores que puede tomar. Es el equivalente de "resolución" en la dependencia espacio temporal. Notar que la precisión de un pronóstico no describe la calidad del mismo (que sólo puede ser estimada por un proceso de verificación) sino que es el grado de segmentación del intervalo pronosticado.

En general la precisión está definida por la unidad utilizada, por la cantidad de decimales utilizados, o por un segmento apropiado. Por ejemplo, la temperatura en grados centígrados implica un número de subdivisiones bastante prácticas cuando se las utiliza en números enteros (un rango de 25 valores en °C distintos permite prácticamente describir la variación diaria).

Por otro lado, la unidad de la variable viento excede las necesidades de los pronosticadores, ya que el uso de intervalos de 1 km/h es más preciso de lo necesario, y por eso suele recurrirse a segmentos predefinidos como en los pronósticos en línea del SMN mostrados en la Fig. 1.

Un caso interesante es el de las probabilidades que suelen darse en porcentaje, pero la existencia de 100 intervalos excede la capacidad cognitiva tanto de pronosticadores como del público. Pocas personas se sentirían cómodas pronosticando 13% de probabilidades de precipitación, por lo que se inclinarían a decir 10%, o 20%, o "entre 10 y 20%". Para reducir el exceso de libertad que permite el rango de 0 a 100, hoy día el SMN ha elegido trabajar con las categorías de probabilidad siguientes: 0%, 0-10%, 10-40%, 40-70%, y 70-100%. Esta elección no está, no obstante, libre de dificultades (ver de Elía y otros 2019).

A pesar de que la precisión no describe la calidad del pronóstico, sí genera una expectativa de calidad. Por ejemplo, un pronóstico de una temperatura máxima de 16.82°C induce a pensar que tanto el sistema de predicción, la observación y la representatividad de esta, como el interés del usuario lo diferencian de un valor de 16.89°C. Si ésta no es la intención implícita del pronosticador, éste debe utilizar menos cifras significativas (17°C) o un intervalo de confianza (16 -18°C) para transmitir la idea correcta de precisión, interés del usuario y/o calidad del pronóstico. Los pronosticadores tienden naturalmente a evitar esta precisión espuria ya que con su experiencia son conscientes de la precisión real de sus pronósticos. En este sentido, la precisión que impone el pronosticador busca tener una relación con la verificación (y es de buena fe hacerlo).

Es importante notar que la precisión deseable en un pronostico depende no sólo de la capacidad del pronosticador de proveer tanta como le sea posible –sin que ésta sea espuria–, sino también del usuario al que éste se dirige. Diferentes usuarios enfrentan diferentes necesidades por lo que en algunos casos, si un pronóstico no alcanza la precisión deseada puede carecer de utilidad. Incluso en ocasiones de pronósticos tan corrientes como el de la temperatura sobre una ciudad balnearia, se encuentra con usuarios bien demarcados –los que están en el centro de la ciudad y los que disfrutan de la playa–, que en la practica se beneficiarían de un pronostico para cada sector en lugar de una bajada de precisión de un pronóstico único centralizado.





2.2 Discretización y segmentación de la información

En un extremo tenemos el ideal donde imaginamos una variable pronosticada para todo tiempo y punto del espacio con alta precisión, y en el otro una discretización tanto en tiempo como espacio, como una segmentación de la variable que disminuye la precisión.

Para emitir información con alto grado de resolución y precisión el pronosticador tiene que confiar que sus insumos se la proveen. Por ejemplo, un modelo numérico puede sugerir que las temperaturas máximas serán de 16.82°C en Tigre y 16.23°C en José C. Paz. Ante la falta de confianza en los modelos en ese grado de precisión, es muy probable que el pronosticador juzgue que esa diferencia de 0.59°C no sea creíble. Además pensará que aunque fuera creíble, no sería de interés, ya que no se conoce sistema socioeconómico que sea sensible a esa diferencia.

De esta manera el pronosticador suaviza subjetivamente el campo original y atribuye a una región una temperatura única representativa, y con una precisión más baja que la dada originalmente por los modelos utilizados como insumos. Desde el punto de vista del graficado esto equivaldría a trazar isolíneas con espaciado controlado por el pronosticador (por ejemplo una isoterma cada 1 o 2°C). En muchos casos el pronosticador no tiene control directo de la salida de los modelos sino que obtiene información a través de imágenes o sistemas que preseleccionan la precisión de la información. En el caso particular de un pronóstico en el SMN, la consulta de temperaturas del modelo se da de dos formas:

- 1. La visualización de mapas de temperatura con precisión variable --con posiblemente 2°C de intervalo--, o bien la carga automática mediante el sistema Pimet de los mapas de temperatura, con precisión de 1°C por área. De esta manera podríamos visualizar en el sistema una temperatura de 17°C en el conurbano norte y una de 16°C en el oeste, por ejemplo.
- 2. La consulta de meteogramas, donde la máxima o la mínima se ven con una escala de 1°C ó 2°C en el eje de las ordenadas, dependiendo de la fuente de información que se use (en algunos casos la resolución se modifica de acuerdo a cuál sea el rango de temperaturas que tiene que mostrar).

En este segundo caso el pronosticador puede distinguir en algunos casos fracciones de grado.

En el caso de un pasaje de un frente frío por ejemplo, es frecuente que la hora de pasaje por un lugar determinado tenga un error de una o más horas. La discretización de la escala temporal en sólo cuatro bloques diarios, como se ha mencionado arriba, representa sustancialmente esta incerteza.

En resumen, por diversas razones los pronosticadores se ven obligados a discretizar la información en el espacio-tiempo, sino también a simultáneamente disminuir la precisión de la variable pronosticada. Hay dos maneras en que esto puede llevarse a cabo:

- El pronosticador elige la discretización espacio temporal y la precisión de la variable teniendo en cuenta sus necesidades.
- El pronosticador utiliza discretizaciones y segmentaciones ya predeterminadas.

Del primer caso un ejemplo concreto es la emisión de los Avisos meteorológicos a muy Corto Plazo (ACPs), donde si bien el intervalo temporal de duración está predefinido (3 horas), el polígono es trazado completamente a criterio del pronosticador (ver Lohigorry y otros 2018, San Martino y otros, 2019). Otro ejemplo son las regiones asociadas a los pronósticos trimestrales del SMN, que son una consecuencia de la homogeneidad en los pronósticos tricategóricos y definidos consensualmente por los pronosticadores participantes (ver https://www.smn.gob.ar/pronostico-trimestral).

Del segundo caso un ejemplo son las regiones de Pimet con sus áreas y plazos del pronóstico predefinidos (madrugada, mañana, tarde, noche, ver Fig. 1). Más allá de la experiencia acumulada por los pronosticadores que los pondría en condiciones de elegir eficazmente una sectorización adecuada a sus necesidades circunstanciales, es importante notar que estas categorías acomodan también intereses de los usuarios, socio-políticos y/o demográficos, así como también las disponibilidades de las herramientas que





se utilizan, como se verá más adelante. La Tabla I muestra algunos ejemplos actuales en el SMN en lo que se refiere a la libertad o no del pronosticador de definir su propia discretización y precisión.

La libertad del pronosticador de decidir la discretización espacio temporal y la precisión percibida es fundamental para ser lo más fiel posible a su creencia y para que pueda volcar y desarrollar toda su experticia. Tan es así, que se estimula el uso de índices que favorezcan al pronosticador que es consecuente con sus creencias (ver por ejemplo Gneiting y Raftery 2007). El elemento quizás más perturbador para quien realiza el pronóstico es la sensación de que ciertos refinamientos que se ha sentido capaz de proveer, no han tenido cabida por las limitaciones de las discretizaciones y categorizaciones predeterminadas. Pero esta libertad del pronosticador tiene muchos inconvenientes, desde la complejidad de la información que se transmite al usuario a las dificultades asociadas a la verificación.

Es posible que el pronosticador, al enfrentarse con un grupo de categorías predefinidas, las adapte a sus necesidades de transmitir la información relacionada con la incertidumbre. No obstante, hay una diferencia central entre elegir el centro de la variable y un intervalo de confianza o elegir entre dos categorías adyacentes. Los llamados casos "borderline" sólo existen en el segundo, cuando el pronosticador se encuentra incapaz de decidir qué categoría debería elegir, como si le hiciera falta una categoría intermedia que en la práctica no existe.

Un ejemplo típico de un caso "borderline" puede ser cuando en los modelos numéricos se observa el pasaje de un frente frío hacia las 10/11 am del día +3 de pronóstico. El pronosticador se enfrenta entonces al dilema de pronosticar lluvia durante todo el bloque de la madrugada y mañana del día +3. Sabe que sólo será afectado el final del bloque, por lo que es válido preguntarse si conviene dejar las precipitaciones en el bloque de la tarde y noche del día +3. La probabilidad de precipitaciones podría usarse para manejar este dilema, pero el problema de tener un bloque de 12 horas rígido subsiste.

Tabla I: Variedades de pronósticos en el SMN en lo que respecta a la libertad del pronosticador para distribuir la incertidumbre.

Parámetro de control	Prono 7 días	ACPs	Estacional
Talla/forma de la región	Categorías Fijas (área Pimet)	Controlable (usualmente un polígono de pocos lados de unos 15.000 km²)	controlable
Ventana temporal	Categorías Fijas (4 para los primeros dos días de pronósticos, 2 del día 3 al 7)	Actualmente fija (3 horas), se espera tener tres opciones (1, 2 y 3 horas).	Fija (trimestre)
Precisión de variable	Categorías e intervalos fijos (por ejemplo, Temperatura sin decimales, y velocidad de viento en 0-6, 7-12, 13- 22, 23-31, 32-41, 42-50, km/h etc.)	Categorías fijas (por ejemplo, "Tormentas fuertes con ráfagas y caída de granizo"; hay 14 combinaciones posibles; una mayor intensidad se informa cambiando "fuerte" por "severa")	Categorías fijas: Tres categorías (inferior a lo normal, normal, superior a lo normal)
Precisión de probabilidad numérica en fenómenos subescala	Categorías fijas (0%, 0-10%, 10-40%, 40-70%, 70-100%)	No existe	Libre, pero normalmente se piensa en incrementos de a 5%.
Precisión de probabilidad cualitativa fenómenos subescala	Categorías fijas	Categorías fijas	no





Algo similar ocurre con la incertidumbre espacial. Por ejemplo, cuando el pronosticador tiene la convicción de que un área específica relativamente pequeña se va a ver afectada por un fenómeno, es frecuente que éste sólo sea capaz de adjudicar esta información a una región predeterminada más grande, y que además tenga que tener en cuenta si será afectada o no el área más poblada contenida dentro del área, la intensidad del fenómeno previsto, su probabilidad de ocurrencia, entre otras cosas. Si además el pronosticador está pensando en el sistema de verificación, y en que éste es más representativo (por ejemplo, más densidad de observaciones) en el área con menos chances de ser afectada, el dilema se multiplica.

Un estudio teórico de la diferencia entre intervalos fijos o predeterminados es presentado en el Apéndice B.

2.3 El significado de las categorías

Como se vio en la Fig. 1, el pronóstico de velocidad del viento se genera en un formato de categorías predefinidas. El significado de este intervalo es, no obstante, poco claro. Podría por ejemplo representar las siguientes creencias del pronosticador:

- 1- que el viento medio (espacio temporal) muy probablemente estará entre esos valores en la región (intervalo de confianza del valor medio temporal y regional).
- 2- que el viento medio (espacial) durante el periodo en la región variará dentro de esos valores.
- 3- que el intervalo marca la variabilidad espacio temporal del viento (todo viento en algún lugar de la región se encontrará en este intervalo).
- 4- que el intervalo elegido incluye el máximo y mínimo del viento que puede ocurrir en toda la región del pronóstico y a lo largo de todo el plazo del pronóstico.
- 5- una combinación objetiva de todos los casos anteriores.
- 6- una combinación subjetiva de todos los casos anteriores.
- 7- otras

Más allá de estas interpretaciones más bien sistemáticas, algunos pronosticadores tienden a emitir la información de acuerdo a las necesidades que perciben en el público. Por ejemplo, si el viento es débil, valores promedios espacio temporales resultan una buena representación. En el caso de vientos intensos, sobre todo en casos de avisos de temporal, el pronosticador pone énfasis en los máximos que son su verdadera preocupación por lo que una región puede quedar dominada por el máximo atribuible a un solo punto. Esto último está asociado a una predisposición en los organismos responsables de la seguridad de la población de preferir una falsa alarma a un evento que sorprenda a la población.

Por otro lado, es posible que el pronosticador mismo no tenga del todo analizada su propia intención, y también es posible que el usuario de ese pronóstico no lo encuentre ambiguo para aplicarlo a sus actividades.

3. LAS DIFERENTES ESCALAS A CONSIDERAR EN UN PRONÓSTICO

En las secciones anteriores el término "escala" fue utilizado de una manera general. En lo que sigue describiremos los múltiples sentidos que esta palabra puede tener y la importancia de utilizarlo de manera explícita a la hora de buscar claridad en estas temáticas.





3.1 Escala geográfica

La variedad fisiográfica del país crea regiones climáticas muy variadas que se reflejan en el tipo de eventos meteorológicos y sus pronósticos. Los casos más importantes son la presencia de topografía, o la cercanía a zonas acuáticas extensas. Se asume que regiones sin importantes variaciones fisiográficas poseen climatologías homogéneas (más allá de un gradiente horizontal poco intenso en las variables), mientras que la presencia de importantes elementos (los mencionados anteriormente) puede generar discontinuidades abruptas. Por esta razón la geografía natural de un territorio define en parte las escalas de interés de un pronóstico.

3.2 Escala del flujo atmosférico

Todo pronóstico meteorológico tiene sus escalas de interés asociadas a la situación meteorológica de base. Por ejemplo, cuando se instala un anticiclón sobre el país, la región ocupada por éste define en parte la regionalización del pronóstico. De la misma manera esto afecta la ventana temporal. En el caso del pasaje de un frente con un marcado gradiente horizontal de temperatura, éste no sólo define su escala espacial sino la temporal ya que es probable que éste se mueva rápidamente. La relación entre la escala temporal y espacial en la variabilidad meteorológica y climática puede verse en el diagrama de la Fig. 2. El SMN emite los ACPs por una duración de 3 horas en regiones poligonales de aproximadamente 100 km de extensión, mientras que los pronósticos a más largo plazo ocupan áreas más grandes.

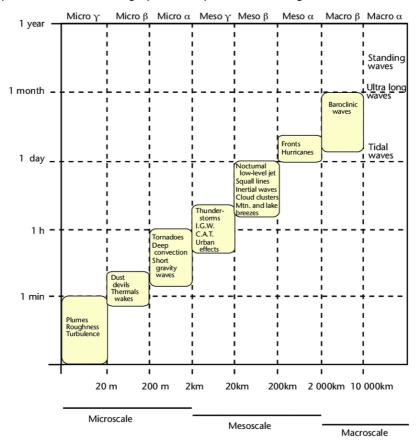


Figura 2: Definición de escalas para diferentes procesos atmosféricos. Notar la estrecha relación entre las escalas espaciales y temporales (sacado de WMO 2012, capítulo 7).





3.3 Escala sociopolítica

Dado que los eventos meteorológicos tienen repercusión económica y social, es natural que el problema de la emisión de pronósticos pueda ser concebido desde la escala espacial asociada a aglomeraciones urbanas, distritos, municipalidades, departamentos o provincias. Es así que en muchos casos la unidad administrativa de más bajo rango --la responsable de las respuestas de seguridad civil-- constituye la "celda" o "átomo" de la regionalización de pronósticos (ver Fig. 3). Notar que éste no sería el caso cuando se trabaja con fenómenos de pequeña escala y regionalización "dinámica", como es el caso de los ACPs (ver Fig. 4). Una razón es que muchas veces el área cubierta por el ACP es comparable al área de un municipio, y por ende éste no sirve como unidad para discretizar el ACP. Sin embargo, los pronosticadores tienden a recortar el polígono que define el ACP siguiendo las líneas de separación de los municipios o departamentos cuando el área afectada es muy pequeña. El objetivo es no alarmar al municipio o departamento si la afectación por la tormenta será marginal. Esto no sólo ocurre en el SMN sino también en el National Weather Service de EE.UU. Estudios muestran que años después de que se pasó de alertas basadas en condados a alertas basadas en tormentas, los pronosticadores continuaban atendiendo mayormente las áreas de los condados (ver Herzman 2011, minuto 11:08).

A esto debe sumarse la composición demográfica de las regiones sociopolíticas, ya que los pronósticos tienden a tener en cuenta I cantidad de usuarios en los centros urbanos a la hora de definir un pronóstico en toda una región.

3.4 Escala Recursos Humanos (RH) y tecnología

De contarse con un número ilimitado de pronosticadores (RH), los pronósticos provistos por el SMN contendrían mucho mayor detalle, atendiendo a todas las escalas pertinentes al pronóstico y a las necesidades de los usuarios. La necesidad de recursos humanos se multiplica en regiones con gran variación fisiográfica concomitante con eventos meteorológicos particulares (por ejemplo el viento Zonda), en períodos de gran actividad convectiva localizada o en las grandes urbes, donde la multiplicidad y diversidad de actividades requiere de una gran variedad de pronósticos específicos (ver por ejemplo WMO 2019). El servicio meteorológico de Australia por estas razones focaliza sus alertas en zonas urbanas¹, mientras que el servicio meteorológico de EEUU focaliza la interacción en tiempo real de sus alertas con los socios estratégicos (por ejemplo, donde existen sistemas de emergencia, ver Fig. 1 en NWS 2018). Por otro lado, la presencia de anticiclones establecidos en regiones sin variedad fisiográfica --donde la escala natural dominante homogeniza la condición meteorológica--, libera los recursos humanos mientras dure dicha condición.

Esta gran variabilidad en la necesidad de RH y cuestiones presupuestarias obligan a la institución a establecer un número más o menos promedio de personas por turno --mismo si se admite cierta movilidad para atender situaciones más complejas. El número de pronosticadores disponibles y las capacidades tecnológicas a las que acceden definen la riqueza máxima que puede tener un pronóstico nacional en lo que respecta a la cantidad de regiones evaluadas, extensión de ventanas temporales, precisión en la definición de los eventos y, naturalmente, en la calidad del pronóstico (Nota: de la calidad de los pronósticos no se discute aquí, esto se detalla en los estudios de verificación).



¹ Ver http://www.bom.gov.au/weather-services/severe-weather-knowledge-centre/WarningsInformation SW SWW.shtml



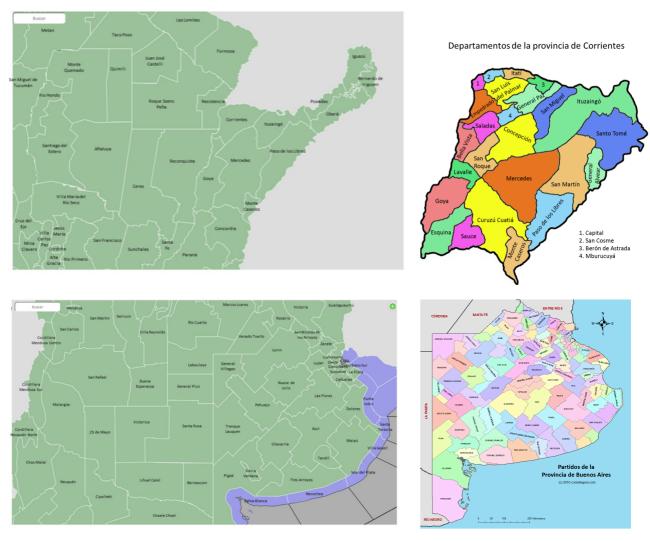


Figure 3: A la izquierda se ilustran las regiones "Pimet" donde el SMN realiza pronósticos de manera cotidiana, a la derecha pueden verse los departamentos y partidos provinciales (Corrientes arriba, Buenos Aires abajo). Comparando las regiones Pimet con su contraparte en división política, puede verse cómo esta última fue utilizada para construir las regiones "Pimet". En ciertos casos debido a importantes efectos fisiográficos, esta regla ha sido alterada (ver costa de Buenos Aires y región de sierras de Tandil y de la Ventana).



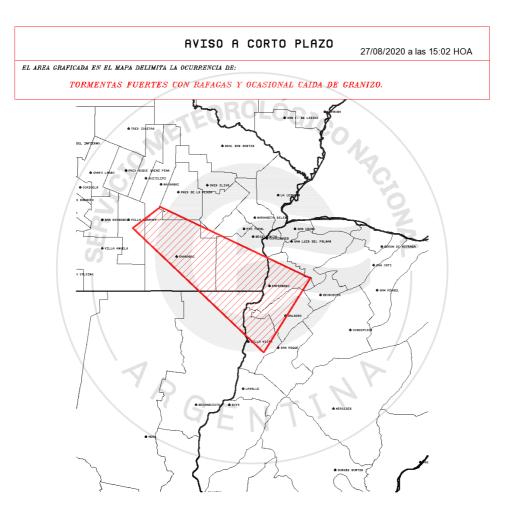


Figura 4: Ejemplo de un ACP que abarca parte de las provincias de Chaco, Santa Fé y Corrientes. El área delimitada por el ACP consiste en el área interna al polígono rojo.

La Fig. 5 esquematiza los compromisos entre características fundamentales del pronóstico y su dependencia con el potencial de la institución para responder a estas necesidades. La mejora de cualquiera de estas cuatro características sin agregado de recursos implica un serio riesgo de degradación de uno o más de los otros. Por ejemplo, en el caso de la Coordinación de Pronósticos Inmediatos (CPI) del SMN se multiplicaron las fuentes de datos a analizar: de 4 a 15 radares, un satélite GOES de nueva generación disponible, una nueva red de descargas eléctricas disponible, más las responsabilidades asumidas con la gestión de calidad en el Volcanic Ash Advisory Center (VAAC) Buenos Aires, mientras que en lo que respecta a tecnología se sumó el panel SkyAr y el visualizador de radares FROG MURAN (adquirido a través del proyecto CyT Alerta, ver de Elia y otros 2020). En este período los recursos humanos pasaron de 9 a 18 pronosticadores.

Para el caso de los pronósticos diarios regionales (ver Fig. 1), se cuenta con tres especialistas (turno día, uno solo par el turno noche) para cubrir un área de 2.800.000 km² y un pronóstico a 7 días. Estas vastas y variables geografías naturalmente requieren la realización de fuertes compromisos entre la atención puesta a ciertas variables o regiones, dependiendo de la exigencia de la situación meteorológica.





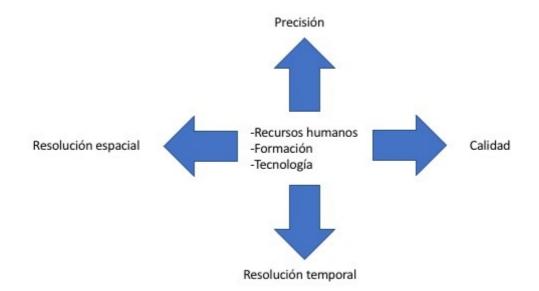


Figura 5: Esquema de los compromisos entre características fundamentales del pronóstico y su dependencia con el potencial de la institución para responder a estas necesidades.

3.5 Escala definida por la densidad de la red de observación

Si bien los pronosticadores tienen la libertad y necesidad de pronosticar en todo el país, la ausencia de estaciones de observación en ciertas áreas ponen un freno al interés o potencial de subdividir con más detalle un territorio. El pronóstico presupone su verificación, dentro de lo posible.

Es decir, en un territorio como el argentino donde se cuenta con 125 estaciones de observación del SMN, sería poco recomendable tener muchas más regiones donde se realicen pronósticos (ver Fig. 6). Es importante tener en cuenta que en la actualidad, existiendo importantes redes de observación provinciales, redes sociales de usuarios que informan de eventos meteorológicos severos, así como una extensa red de radares y excelente cobertura satelital, esta recomendación no es tan estricta como en épocas anteriores.

En el caso de los ACP el factor limitante es la disponibilidad de información provista por un radar meteorológico (ver Fig. 7). Los ACP se podrían emitir en zonas sin cobertura de radar utilizando la información de los satélites meteorológicos geoestacionarios y de sensores de actividad eléctrica atmosférica. Sin embargo, en estas condiciones la calidad de los ACP se vería notablemente disminuida, y es por este motivo que se decide no emitirlos

Otro tema importante es la representatividad de estas observaciones, ya que éstas no ocupan el territorio al azar sino que están claramente sesgadas hacia los centros de alta densidad de la población.





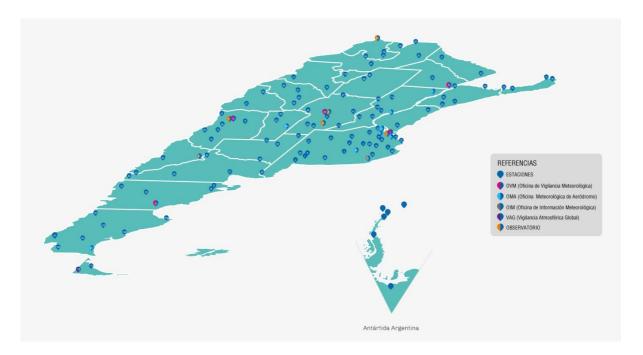


Figura 6: Distribución de estaciones meteorológicas del SMN en la Argentina.

3.6 Información en subescala

A pesar de la necesidad de emitir información limitada a la escala espacial de las regiones de cada producto (ver Tabla I) y dentro de la ventana temporal, en algunas variables se provee información de subescala al hablar de "chaparrones aislados" o "granizo ocasional". Esta información de subescala puede ser muy útil para el usuario a pesar de no tener ninguna referencia específica ni espacial ni temporal, y poca precisión con respecto a la intensidad del fenómeno.

Otra variable que suele presentarse en subescala es el viento cuando se utiliza la idea de "ráfaga", con poca precisión espacio temporal pero asociada con un intervalo de intensidad.

Este tipo de lenguaje de subescala permite al pronosticador bastante libertad al momento de incluir información sobre fenómenos de escala meteorológica pequeña en lo espacio temporal (de baja predictibilidad), pero conducidos por la gran escala (de alta predictibilidad). Mediante este tipo de frases el pronosticador reconoce la imposibilidad de dar mayores precisiones sobre el fenómeno pronosticado. Esta imposibilidad puede tener múltiples orígenes: insuficiente grado de avance científico, escasez de recursos humanos, limitantes en el formato del producto, etc.

Dentro de la información de subescala también es posible centrarse en la ventana temporal a través de la indicación de tendencias, por ejemplo con el uso de terminología como "mejorando". Con la implementación de Pimet en el SMN, el uso de este tipo de términos quedó descartado en el pronóstico público a 7 días ya que el sistema no incluye ícono que lo represente. Esta eliminación no acarreó el favor de los pronosticadores. Su utilización sí existe todavía en otro tipo de pronósticos (boletines de navegación marítima, por ejemplo).





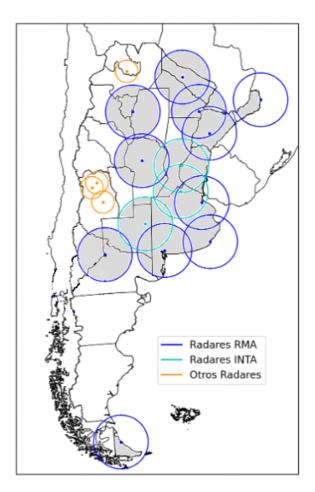


Figura 7: Red de radares meteorológicos de Argentina vigente al año 2020.

4. INCERTIDUMBRE, RESOLUCIÓN Y PRECISIÓN

Hay muchas razones para discretizar la información en espacio y tiempo así como para la reducción de precisión en la variable pronosticada. Una de ellas es el manejo consistente de la incertidumbre o ignorancia asociada a la información, con el objetivo de filtrar la información en que el pronosticador no confía.

Por esta razón se crea una relación a través del conocimiento de los pronósticos (con su verificación objetiva o subjetiva, o como fruto de la experiencia en el oficio) entre por un lado la incertidumbre y por otro la discretización en espacio y tiempo y reducción de precisión de la variable. En los sistemas de pronóstico más elaborados esperamos una estrecha relación entre discretización espacio temporal y precisión de la variable, y que la existencia de mucho o poco detalle en el pronóstico guíe de alguna manera las expectativas de los usuarios.

Veamos cómo se aprecia el efecto de estos "filtrados". Cuanto más grande es la región que el pronóstico unifica, más variabilidad en el espacio es ignorada, y lo mismo ocurre en la escala temporal. La disminución de precisión en la variable pronosticada de alguna manera explicita esta pérdida de información.

En el caso de que la información original provenga de un modelo numérico de alta resolución, esto puede deberse a que los pronosticadores o bien no tienen tiempo o herramientas para transmitir los detalles, o bien no tienen confianza en los detalles provistos por el modelo. Esto último puede deberse tanto por la existencia de errores sistemáticos conocidos en los modelos como a una presunta baja predictibilidad del evento. Por ejemplo, el detalle de una celda convectiva en una corrida determinística de alta resolución,





debe ser interpretada no por el detalle en sí, sino como un síntoma de que las condiciones en una cierta distancia a la redonda es propicia para tener este tipo de tormentas. Esta virtual extrapolación espacial por parte del pronosticador elimina naturalmente resolución espacial (resolución presente de manera quizás espuria en la corrida del modelo).

En el SMN esto se debe en parte a que no hay estudios de verificación objetivos de los procesos de mesoescala representados por el modelo de alta resolución WRF. Éstos sólo se podrían verificar contrastándolos con imágenes de radar. Sí hay verificaciones mensuales en relación a otras variables, por ejemplo la precipitación acumulada, sin embargo ésta no da información de estructuras de mesoescala. Por lo tanto, más que la verificación subjetiva del pronosticador de turno, que observa la imagen de radar al mismo tiempo que la corrida del modelo de alta resolución, no es posible evaluar la performance del modelo en relación a la reconstrucción de la mesoescala. Es por eso en parte que se hace inevitable reducir la resolución en el pronóstico final.

Las herramientas de visualización y manipulación de la información que disponen los pronosticadores pueden también ser un obstáculo al agregado de detalle. Tomando el ejemplo del párrafo anterior, al momento de escribir este texto los pronosticadores no cuentan con herramientas de visualización que permitan superponer las imágenes de radar observadas junto a las simulaciones de radar generadas por el modelo.

La falta de predictibilidad siempre resultará el factor dominante para horizontes más largos, y de esta manera es fácil imaginar que si el pronosticador tuviera control tendería a reducir la resolución espacio temporal y la precisión cuanto más lejos en el futuro se realizara el pronóstico. De cierta manera esto se logra con algunas variables. Por ejemplo, una situación de tormentas fuertes sobre una región vista en los pronósticos numéricos a 5 o 6 días se presenta normalmente como pronóstico de chaparrones o tormentas aisladas con baja probabilidad de ocurrencia. A 3 días un pronóstico idéntico se presenta como tormentas, y a 48 horas pasaría a ser de tormentas fuertes (lo que equivale a emitir un alerta).

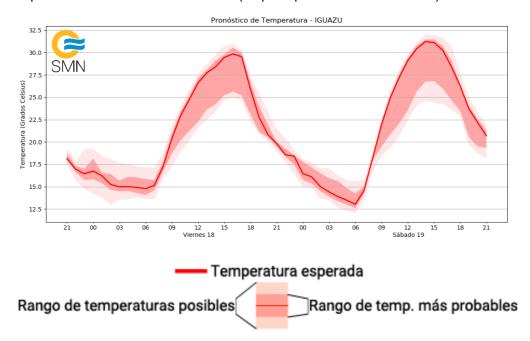


Figura 8: Pronóstico de temperatura para Puerto Iguazú a partir del ensamble generado en el SMN, utilizando la dispersión del ensamble de 20 miembros del modelo WRF para informar la confianza en el pronóstico (ver Dillon y otros 2020, y https://www.smn.gob.ar/modelos).

Este mismo efecto se aprecia cuando en lugar de una predicción determinística se cuenta con un ensamble. Hacia el futuro los miembros tienden a divergir, por lo cual si uno realizara un promedio de este ensamble se encontraría con un campo más suavizado que cada uno de los miembros. Si uno no realiza práctica o mentalmente este promedio pero se esfuerza por retener toda la información, se tiene ahora en cada punto





de la geografía un intervalo de confianza (dispersión del ensamble), que nos define su precisión. El SMN cuenta con un producto en desarrollo generado a partir del ensamble WRF de 4 km que se presenta en la página web del organismo (ver Fig. 8) como forma alternativa de comunicar el pronóstico utilizando la dispersión del ensamble.

Esta incertidumbre presente en el ensamble en puntos geográficos y tiempos precisos (por ejemplo Puerto Iguazú, a las 12 horas), tiene su equivalencia en la variabilidad espacio temporal. Es decir, considerando un sólo pronóstico determinista uno podría encontrar un intervalo de tiempo y un área alrededor del punto de interés, y determinar el intervalo de confianza que contiene los valores del volumen espacio temporal definido. Podríamos entonces construir utilizando la corrida determinista, un intervalo de confianza basado en los valores de la temperatura en una región en torno a Puerto Iguazú en un período de tiempo entre las 10 y las 14 hs. ¿Cuánto diferirá éste del intervalo de confianza construido con la dispersión del ensamble? O mejor dicho, ¿existe una región espacial y un intervalo temporal para el cual la variación de temperatura en una corrida determinista sea equivalente a la dispersión de ensamble sobre Puerto Iguazú? Pensado desde otro punto de vista, podemos ver que cuanto menos instantáneo y puntual es el pronóstico --mayor el volumen espacio temporal que abarca-- menor valor agregado parece introducir el ensamble. Esto es particularmente importante para pronosticadores preocupados en escalas espaciales más amplias que las puntuales, ya que están obligados a pensar la incertidumbre del ensamble como una composición espacio temporal de lo que muestra la Fig. 8.

Un punto interesante de esta reflexión es que la falta de detalle espacio temporal en un pronóstico puede ser considerado tanto por el pronosticador como por el usuario como un mensaje implícito que sobreentiende una cierta cantidad de incertidumbre. Podría decir un usuario: "si hay detalle en alta discretización espacio temporal y en precisión, los tomo al pie de la letra; si no me dan detalle espero una cierta incertidumbre en los pronósticos". Ésta es una hipótesis que debería ser verificada; si es así, sería la más básica y convencional manera de transmitir información implícita sobre la incertidumbre.

Es importante notar que tanto la incertidumbre ligada a la predictibilidad (baja predictibilidad), como a la falta de recursos humanos o tecnológicos (ignorancia por no acceder a toda la información necesaria), puede expresarse de la misma manera: campos discretizados y/o suavizados y variables en baja precisión. Esto muestra la estrecha relación que existe entre incertidumbre puramente de origen meteorológico y la llana ignorancia; y la semejanza en la manera que las comunicamos, conscientemente o no.

5. PLAZO Y ACTUALIZACIÓN DE PRONÓSTICOS

El plazo otorgado a un pronóstico es de por sí un arma para evitar sumergirse en problemas de alta incertidumbre. Como fue discutido en la sección 2.2, con respecto al intervalo de confianza asociado a un pronóstico, es posible que si el pronosticador pudiese elegir el plazo de su pronóstico, el mismo sería dependiente de cada situación. Por ejemplo, con respecto a la evolución de una ciclogénesis sería más conservador que ante un anticiclón ya instalado: en el primero pronosticaría sólo para las próximas 24 hs, mientras que en el segundo se animaría a estirarse varios días más.

De alguna manera el plazo de un pronóstico tiene relación inversa con el intervalo de confianza que lo acompaña, y las instituciones que toman los pronósticos responsablemente tienden a definir su plazo dentro del periodo de tiempo que todavía incluye una predictibilidad mensurable y significativa (en promedio). Naturalmente existe tensión en el interés de los SHMNs de mantener su reputación y el del público en obtener los plazos más largos posibles. Esta zona gris suele ser cubierta por proveedores privados o independientes no siempre de modo responsable (para un caso extremo ver Apéndice en de Elia 2020).

Como una excepción a lo mencionado arriba se encuentran los plazos de los ACPs. Dentro del SMN los ACPs originalmente fueron fijados con un plazos de 3 horas, pero los pronosticadores mismos están interesados en controlar el plazo y fijarlo en 1, 2 o 3 horas, dependiendo de la situación a la que se enfrentan. Contrariamente a lo que pueda pensarse en primera instancia, un plazo más corto aquí podría indicar más convicción por parte del pronosticador sobre cómo evolucionarán las tormentas porque refiere al





fin de la tormenta: una tormenta severa tipo pulso tiene una vida del orden de 1 hora, mientras que una línea de inestabilidad madura puede durar algunas horas más si el entorno es favorable. La variación de la duración del ACP entonces se ajustaría a la vida esperada del modo de sistema convectivo pronosticado (notar que los ACP han sido diseñados para no poder ser cancelados una vez que la tormenta se ha disipado).

El ritmo de actualización de los pronósticos también está estrechamente relacionado con la predictibilidad real o percibida y esto puede apreciarse en dos características: primero, que cuanto más incierto es el pronóstico más se necesitaría en principio acelerar el ritmo de actualización, y segundo que en algunos casos pronósticos anteriores agrupados con el más actual jugará el rol de una suerte de "ensamble" que puede sugerir la predictibilidad de la situación en curso.

En el primero de los casos se puede notar que un alto ritmo de actualización evita al pronosticador tener que proyectarse mucho tiempo en el futuro y verse obligado a expresar su incertidumbre, aunque ésta se revela a través del "ritmo" de estas actualizaciones. Un ejemplo interesante es el caso de los Juegos Olímpicos de la Juventud 2018, que tuvieron lugar en Buenos Aires y sus alrededores y en el que el SMN proveyó información meteorológica: se realizó el pronóstico diario hasta 7 días a futuro para las sedes de los eventos y también se realizó un seguimiento diario a través de pronósticos inmediatos (ver Ishikame y otros 2019). Allí los pronósticos se actualizaban cada hora con la presencia de buen tiempo y cada 30 minutos cuando había sospecha de mal tiempo. Esta altísima frecuencia de actualización se relaciona con que muchas de las variables pronosticadas demandadas tienen baja predictibilidad. Un ejemplo extremo de la alta frecuencia en la actualización de los pronósticos se encuentra en estudio en EEUU. En el Laboratorio Nacional de Tormenta Severas de dicho país se está realizando de manera experimental una actualización casi continua (cada 2 minutos) de pronósticos equivalentes a los ACPs para maximizar y establecer un mismo tiempo de preaviso a todas las personas que están en el camino de una tormenta severa (ver Cintineo y otros 2018). Otra ilustración de la dependencia de la actualización con la predictibilidad es el sistema de pronóstico High-Resolution Rapid Refresh (HRRR, ver Benjamin y otros 2016). Éste se actualiza cada hora dado su interés en la actividad de mesoescala y que asimila información proveniente de radar. En la actualidad este sistema corre a una resolución horizontal de 1 km en su dominio más pequeño (ver https://rapidrefresh.noaa.gov/hrrr/).

La reciente puesta en operaciones del Sistema de Alertas Tempranas (SAT) muestra que en situaciones de riesgo bajo (nivel verde o alertas amarillos), las actualizaciones y el seguimiento de los alertas se puede manejar con intervalos de 12 horas, pero esto no resulta conveniente cuando el riesgo es más elevado (alerta naranja o roja), donde es más probable que haya actualizaciones fuera de rutina y el seguimiento -- tanto de pronosticadores como del usuario-- sea mucho mayor. Coincidentemente, las situaciones de alerta naranja o roja son situaciones de mayor incertidumbre, y por ende los plazos a los que se emiten suelen ser mucho más cortos que los amarillos (en general se extienden como mucho entre las 12 y 18 horas, mientras que los amarillos suelen aparecer en plazos de entre 24 y 48 horas, y a veces hasta 72 horas).

La segunda de las características mencionadas es en algunos casos --sobretodo en pronósticos más a largo plazo-- la utilización de las diferentes actualizaciones como sucedáneos de un ensamble. Por ejemplo, si un pronosticador percibe cierta semejanza en los sucesivos pronósticos de un lunes a las 0 hs, a las 6 hs, y a las 12 hs, en los campos previstos para el miércoles al mediodía, esto le sugiere baja incertidumbre en el evento y siente más confianza en su pronóstico. Este tipo de acercamiento intuitivo a la predictibilidad de un evento es muy anterior al concepto de "ensamble" pero se rige por la misma lógica: el pronóstico es o no sensible a las condiciones iniciales. Es importante notar que aunque sea discutido aquí, este tipo de apreciación de la incertidumbre se acerca más al concepto de incertidumbre tratado *explícitamente*, como se discutió en la introducción, aunque puede también pensarse como un puente entre el tratamiento *implícito* y el *explícito*.

Es importante mencionar que la actualización de un pronóstico en la práctica responde a elementos relacionados no sólo con la "física" del evento meteorológico en curso, sino también con los recursos y logística de la oficina meteorológica, como así también con la percepción que puede tener el público de una información demasiado cambiante con el tiempo.





6. INCERTIDUMBRE EN LAS OBSERVACIONES UTILIZADAS PARA PRONÓSTICOS A CORTO PLAZO

No solo los pronósticos numéricos que recibe el pronosticador tienen una dosis de incerteza. Aquellos que trabajan con pronósticos sobre eventos severos en el corto plazo suelen utilizar observaciones inmediatamente adquiridas como insumos para generar su pronóstico, y éstas también incluyen una incertidumbre asociada. Éste es el caso de cualquier instrumento, pero especialmente de aquellos que no miden variables con directa interpretación como los sensores remotos tanto satelitales como terrestres. Por ejemplo, la reflectividad medida por el radar no corresponde a ninguna variable de uso directo en la meteorología (no es la tasa de precipitación, ni el volumen), pero se puede relacionar con éstas si se acepta un (bastante alto) nivel de error. Más allá de la información teórica que posea sobre este error, el pronosticador aprende con la experiencia que la relación reflectividad-tasa de precipitación es menos directa de lo que desearíamos. Además de la dificultad del significado específico de la variable medida, también existe el problema de los errores de medición atribuibles a múltiples factores. Esto es algo particularmente común en los instrumentos de alta complejidad, como el mencionado radar (atenuación, interferencia electromagnética, eco de terreno, banda brillante, etc). Una cantidad importante de las publicaciones en meteorología por radar se ocupan en encontrar una mejor relación entre reflectividad.

Como todos sabemos, no existe una rama de nuestra ciencia llamada "meteorología por termómetro", y esto se debe a que a fines prácticos el termómetro mide lo que deseamos con un error pequeño y aceptable dadas ciertas condiciones de instalación. Es por ello que el pronosticador conoce el error atribuible a las observaciones de temperatura cuando utiliza instrumentos pertenecientes al SMN, y tiene una idea de la representatividad del medioambiente de estas observaciones gracias a su experiencia o conocimiento anecdótico de la localización de la estación (dentro de una ciudad, etc).

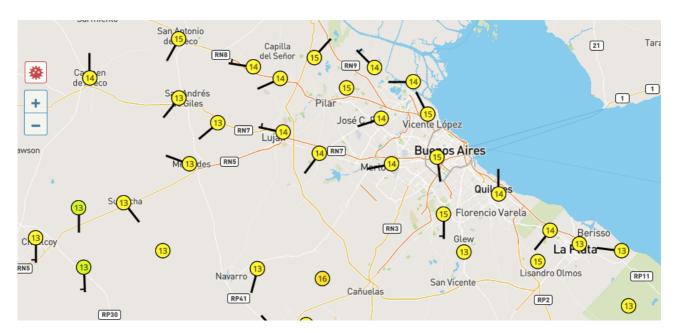


Figura 8: Estaciones meteorológicas automáticas pertenecientes a ciudadanos centralizadas e ilustradas en Wundermap (imagen tomada el 21 de Julio de 2020 a las 13:30). Se puede apreciar la temperatura en el círculo amarillo y las barbas indicando la dirección del viento. Algunos de estos datos son actualizados cada 5 minutos. Cabe aclarar que a fines de facilitar la visualización de los datos, la página web Wundermap no presenta la información de todas las estaciones meteorológicas automáticas disponibles en la región mostrada. Al aumentar el nivel de zoom del mapa más estaciones aparecen si las mismas se encuentran disponibles.





Hoy sin embargo este punto tan obvio sufre una importante modificación. Cuando los pronosticadores utilizan observaciones provenientes de estaciones de otras instituciones o de monitoreo efectuado por ciudadanos, el error asociado a ellas no sólo es desconocido, sino que además es posible que se modifique con el correr de los meses (lo que da a la experiencia del pronosticador un valor relativo). La manera que tiene el pronosticador de obtener una cierta credibilidad de estas fuentes se basa sobretodo en medir la coherencia mutua entre estaciones cercanas, y en la continuidad a través del tiempo de esta coherencia. En general puede pensarse que el pronosticador debe extraer información de una manera diferente a la convencional. Está acostumbrado a trabajar con estaciones muy dispersas pero de gran exactitud, mientras que hoy existe acceso a una alta resolución espacial y temporal de estaciones mantenidas por actores individuales pero con un nivel de exactitud desconocido. La Fig. 8 muestra un ejemplo de la actual disponibilidad de esta información. La aparición de fuentes de información de alta resolución espaciotemporal pero de baja calidad hace que se necesite un tratamiento específico si se requiere de ellos estimaciones cuantitativas (ver por ejemplo, de Vos y otros 2019), o simplemente deben usarse de manera más subjetiva como, por ejemplo, para visualizar una región con lluvia o ubicar la posición de un frente. A

7. CONCLUSIONES

El pronosticador tiene diferentes mecanismos para manipular en ocasiones sus fuentes de incerteza. Éstos pueden ser:

través de un estudio de estas fuentes se podría estimar los errores aquí discutidos de manera sistemática, de lo contrario se suman a la cantidad de información imprecisa que recibe el pronosticador y que éste

procesa y transmite con los ya mencionados mecanismos para manipular las incertidumbres.

- Controlando la talla de la región a la que su pronóstico aplica (a veces moduladas por una alta discretización geográfica al utilizar unidades "atómicas" predefinidas).
- Controlando la ventana temporal a la que su pronóstico aplica (también discretizadas en bloques de tiempo).
- Controlando la precisión de la variable pronosticada (utilizando pocos intervalos o categorías, o adjudicando probabilidades a la confianza del pronóstico).
- Utilizando información de subescala para fenómenos puntuales (chaparrones, granizo) asociados a términos probabilísticos cualitativos (probabilidad de chaparrones) o cuantitativos (90% de probabilidades de precipitación).

En algunos casos, los pronosticadores tienen acceso directo a estas manipulaciones. Por ejemplo, los ACPs controlan a voluntad la forma y tamaño y apuntan en el futuro a controlar parcialmente la ventana temporal. En la mayoría de los casos los pronosticadores trabajan con regionalizaciones, ventanas temporales y precisión ya predefinidas para cada variable. Estas definiciones estandarizadas son resultado de compromisos de diferentes factores, desde la geografía, la demografía, la sociopolítica, la talla media de los sistemas meteorológicos, la densidad de la red de observación, la mano de obra disponible y los usos y costumbres.

Estas divisiones por ende no están planeadas para expresar la presunta incertidumbre del pronóstico. Por ejemplo, para un dado pronóstico los pronosticadores podrían creer que sería razonable ir a una ventana más pequeña en lo temporal --como lo reclaman los pronosticadores a cargo de los ACP que desean avisos que puedan ser de 1, 2, o 3 horas, en lugar de fijo en 3 horas--, o a más resolución en la espacial. Es necesario estimar si esta impresión es corriente entre los pronosticadores, o si el equilibrio encontrado en el SMN se acerca a lo óptimo dadas las circunstancias.

Una manera de pensar el problema es la siguiente. Supongamos que tenemos el hábito de pronosticar con un dado volumen espacio temporal y una dada segmentación de la variable pronosticada (grandes áreas, largos intervalos de tiempo y pocos intervalos para expresar los cambios en la variable de interés). ¿Qué





sucedería si se decidiera disminuir el volumen espacio temporal y/o la segmentación de la variable pronosticada? Indudablemente esto haría feliz en un principio a varios usuarios ya que se les estaría dando más información. Lo que queda por establecer es si en realidad se está proveyendo más información o si sólo se incluye ruido sin contenido informativo. Los proveedores de servicios que se rigen más por la demanda que por estándares científicos complacen a sus usuarios otorgándoles la información pedida, sin advertirles que ésta no tiene contenido real.

Por otro lado, si se puede mostrar a través de verificaciones que el aumento de resolución y precisión provee información adicional, entonces podríamos decir que esta innovación sería bienvenida. Es importante tener en cuenta que es posible que algunos índices de habilidad muestren mejora y otros no. En definitiva, la verdad se encuentra del lado del usuario --o de un índice que represente los intereses del usuario--, si éste percibe que el incremento en resolución y precisión mejora el producto para sus necesidades.

Por otro lado, estos ejercicios podrían mostrar que la información provista al público en algunos casos sugiere una precisión que en realidad no tiene. Por ejemplo, uno podría argumentar que pronosticar la temperatura máxima a 7 días con la precisión de un grado es irreal. Si esto fuera así, se podría estar tentado a presentar la temperatura a 7 días con un intervalo de confianza de 2°C por ejemplo (aunque esto podría presentar inconvenientes de interpretación por parte del público, los cual también hay que tener en cuenta).

En el caso de un pronóstico para un usuario específico por un evento público al aire libre con hora de inicio fija --como un encuentro de fútbol importante, o un acto político--, el pronosticador se encuentra con la imposibilidad de "distribuir" la incertidumbre en el espacio y el tiempo. Debe entonces volcarla únicamente en un punto geográfico y un instante o período corto, concentrando la información de manera lo más clara posible a través de un esmerado uso de un intervalo de confianza en la variable de interés y/o de probabilidades. La idea de "chaparrones aislados" ya es menos útil, porque la pregunta es más precisa. Es en este último caso que la información relacionada con la incertidumbre de un pronóstico se vuelca casi completamente al manejo de las probabilidades.

APÉNDICE A: Glosario

Categoría: cada uno de los descriptivos de posibles resultados de un evento. En los casos más simples puede pensarse en dos categorías (Iluvia, no Iluvia), o más categorías (no Iluvia, Iluvia débil, Iluvia fuerte, Iluvia torrencial). También puede pensarse en categorías numéricas. Es fundamental que las división en categorías ocupe todos los resultados esperables (que no haya eventos que un pronosticador no pueda categorizar), y no debería haber categorías que se superpongan (un pronosticador no debería dudar sobre cuál categoría utilizar--salvo en los fenómenos "borderline").

El caso más trivial es la categorización de una variable escalar: por ejemplo, la división de la precipitación en intervalos (0-0.99, 1-9.9, 10-99, 100-∞)-- en el que esta propiedad se cumple fácilmente. Notar que en las variables que no tienen valores naturalmente acotados, las categorías extremas deben tener sus límites abiertos o utilizar valores que garanticen estar más allá de un máximo valor obtenible.

En el caso de variables no escalares, como es el caso de intensidad de una tormenta --se necesita una serie de parámetros para definirla (duración, tasa de precipitación, ráfagas asociadas, actividad eléctrica asociada etc.)--, la división en categorías que no se superponen es un desafío. Esto puede verse por ejemplo en la dificultad de desambiguar las categorías de Tiempo Presente en el codigo SYNOP (ver http://labosinop.at.fcen.uba.ar/CODIGO_SYNOP_basico.pdf).

Discretización: Transformación de una variable de pronóstico (temperatura, viento, etc) de una dependencia continua a una dependencia discreta a través de la aplicación de una grilla o retícula. El caso típico es el





utilizado en los modelos numéricos, tanto en espacio como en el tiempo. De esta manera el espacio tiempo queda dividido en unidades finitas. Cuanto más pequeñas son estas unidades, decimos que el sistema es de más alta resolución (ver *Resolución*).

Notar que la discretización de la dependencia espacio temporal de una variable no implica, la discretización de la variable misma. Para clarificar términos, a esto último lo llamaremos *segmentación*.

Intervalo de predicción: intervalo de confianza generado por el pronosticador en una dada variable cuando ésta es continua. Si el pronóstico está regido por categorías predeterminadas, el intervalo de confianza queda automáticamente definido por los límites de la categoría.

Precisión: Este término tiene muchas acepciones desde las coloquiales, pasando por aquella del mundo de la metrología (notar que *no* dice meteorología), hasta la del mundo de la computación. Es esta última la que resulta de más utilidad en este caso, equivalente a cuando se define una variable de precisión simple o doble en un código de programación. Si pensamos en el intervalo numérico (0,1) por ejemplo, la precisión de una medida nos dice en cuántas subdivisiones podemos dividir el intervalo en cuestión. Una división en baja precisión nos permitiría por ejemplo tener sólo una serie de diez valores, incrementado de a décimos. Una de alta precisión nos dejaría dividir el intervalo en 10.000 partes e imaginando valores como 0.7435.

Resolución: Nivel de la discretización espacio temporal de un campo meteorológico (por ejemplo, dentro de un modelo, o una salida de modelo o su post-procesamiento). La resolución de un campo puede ser aumentada (vía downscaling) para ganar más información o degradada (vía upscaling) cuando la resolución es demasiado alta para un uso dado. Naturalmente el downscaling necesita de herramientas sofisticadas si se quiere que la información adicional generada sea de alguna utilidad.

Segmentación: Transformación de una variable continua en discreta a través de la partición de ésta en un número finito de intervalos. Dependiendo de la cantidad de estos intervalos la variable puede pensarse como <u>cuasi continua</u> --como en el caso de un pronóstico de temperatura que utiliza sólo valores enteros-- o <u>categórica</u> --como el caso de los pocos intervalos usados en el SMN para los vientos en superficie (0-6, 7-12, 13-22, 23-31, 32-41, 42-50, etc) km/h (ver también *Categoría*).

Sectorización: separación en regiones geográficas donde un mismo pronóstico es válido. La sectorización puede estar dictada por las características de la información meteorológica del momento (como los ACPs), o puede ser predeterminada por la oficina de pronóstico (como el caso de las regiones Pimet).

Ventana temporal: es el equivalente en el tiempo a lo que la regionalización es en el espacio. Los pronósticos del SMN a dos días se dan para cuatro ventanas temporales diarias, madrugada, mañana, tarde o noche.

Volumen espacio temporal: unidad de superficie y tiempo que definen la región y ventana temporal en la cual un pronóstico es definido con un mismo conjunto de valores. Incluye información de la subescala si la hubiera.





APÉNDICE B: El costo de utilizar categorías predefinidas

Muchas de las variables pronosticadas se emiten sin intervalo de confianza, pero en algunos casos la segmentación de la variable --como el caso del viento discutido en la sección 2.2--, cumple de alguna manera esta función.

Es intuitivo pensar que una variable cuyo pronóstico tiene un desvío estándar σ , sea representado por intervalos de segmentación comparables a σ (pero no mucho más grandes que σ , ya que esto implicaría demasiada pérdida de información valedera).

Al mismo tiempo --como bien saben los pronosticadores--, la segmentación acarrea el problema de los bordes entre segmentos o categorías. Supongamos para el caso del viento que nuestra mejor estimación indica que el viento será de 6,5 km/h. Este valor es justo una de las divisiones de categorías en la variable viento. ¿A cuál segmento asignarlo? Obviamente no es una duda grave, pero inducirá a un error si uno elige el que finalmente no fue observado.

La misma situación se plantea por ejemplo ante el pasaje de un frente, en el que se debe asignar las lluvias o el cambio de temperatura a un segmento del día o al siguiente (ver Fig. 1, panel superior).

Indudablemente el intervalo de confianza no acarrea este conflicto, así que utilizar categorías, si bien simplifica mucho las operaciones, tiene un precio que hay que pagar. En lo que sigue se plantea la resolución formal de este problema.

La Fig. B.1 presenta el caso de una variable o parámetro (e.g. viento, temperatura), dividido en segmentos equidistantes y con divisores T_n, T_{n+1}, T_{n+2}, T_{n+3}. La función en color representa la distribución del error de un dado sistema de pronóstico (o pronosticador). En el caso del panel superior, tenemos el caso de una incertidumbre del pronóstico bastante más pequeña que el intervalo donde se debe pronosticar (serie de líneas negras verticales), y es por esta razón que la mayoría de los casos a pronosticar "caen" dentro del intervalo definido, salvo cuando los valores pronosticados se ubican muy cerca de los bordes. En este caso hay chances que lo que se pronostica para el segmento entre T_{n+1}, T_{n+2}, caiga en la práctica en uno de los segmentos vecinos. El panel inferior de la Fig. B.1 muestra el mismo gráfico pero para un caso donde el error del sistema de pronóstico es comparable al del tamaño del intervalo, y se puede ver que las chances de pronosticar en el segmento equivocado son más grandes.

Estos gráficos muestran el caso de distribuciones ubicadas en diferentes lugares del segmento, mientras que lo que querríamos sería conocer un resultado general que nos indique el error típico que se comete al seleccionar una variable pronosticada con una dada distribución de error y una dada segmentación de la predicción.

En términos matemáticos la estimación del error se realiza haciendo una convolución entre la distribución del error del sistema de pronóstico (en este caso una Gaussiana para simplificar el álgebra) y una función uniforme representando la longitud del segmento.

Los detalles de esta convolución pueden verse en Brandt (2014, pág.104, 86 y 505), donde se obtiene la fórmula

$$f(x) = \frac{1}{T_{n+2} - T_{n+1}} \left[\psi \left(\frac{T_{n+2} - x}{\sigma} \right) - \psi \left(\frac{T_{n+1} - x}{\sigma} \right) \right]. \tag{B.1}$$

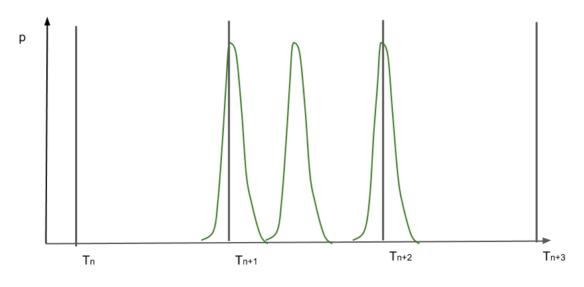
Aquí f(x) representa el error del pronóstico cuando se lo fuerza a utilizar una segmentación predefinida, donde ψ es la probabilidad acumulada de la distribución Gaussiana --que no tiene solución analítica pero que existe en cualquier lenguaje de programación--, T_{n+1} y T_{n+2} son los límites inferior y superior del intervalo en discusión, y σ el desvío estándar elegido para la Gaussiana que representa el error del pronosticador (se asume una media nula; o sea que el pronóstico tiene "ruido" pero no bias, o que su bias ya fue eliminado con postproceso).

La Fig. B.2 muestra resultados de este cómputo para dos casos similares a los ejemplificados en la Fig. B.1. La curva verde con desvío estándar proporcionalmente pequeño (línea sólida), produce una distribución de





error asociado en la línea verde discontinua. Esta curva muestra que cuando los valores pronosticados caen confortablemente en el intervalo hay pocos casos de pronósticos que se desvían hacia los intervalos vecinos. La línea naranja muestra que cuando el desvío estándar es cercano al tamaño del intervalo una gran cantidad de pronósticos caen en los intervalos equivocados (línea discontinua).



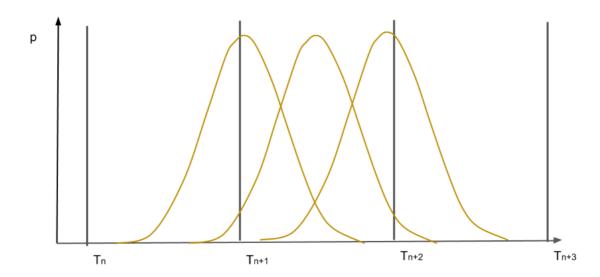


Figura B.1: Distribución de la probabilidad de un evento pronosticado en tres diferentes casos. En el eje horizontal se indican los segmentos a los que se dividió la variable pronosticada. Cuando el pronosticador entiende que el valor pronosticado caería en el medio del intervalo, la campana de error de dicho pronóstico cae mayormente en el segmento elegido. Es decir, en la mayoría de los casos el pronóstico se verifica correctamente. Éste no es el caso cuando el pronóstico se acerca al borde del segmento elegido. Esto es aún más grave en el panel inferior, donde el pronóstico tiene un error más grande asociado.

En ambos casos se puede ver que la segmentación de la variable aumenta el error total del pronóstico. En el caso de la curva verde continua, es obvio que la segmentación es demasiado cruda y que se pierde información. En el caso naranja, la segmentación parece más razonable pero igualmente "ensancha" el error producido por el pronosticador. Para la curva naranja el 20% de los pronósticos caen en el segmento equivocado, mientras que para la verde es solo del 3%.





Este resultado muestra que la segmentación predefinida de una variable indefectiblemente agrega al error asociado del sistema de pronóstico (o pronosticador). También se puede ver que este error agregado proviene de los problemas de borde, inexistentes cuando es el pronosticador el que provee un intervalo de confianza y no se rige por categorías predefinidas. Sería importante evaluar el impacto de la segmentación en el índice de verificación de cada variable y analizar si este error agregado es compensado por la ventajas de contar con una segmentación predefinida.

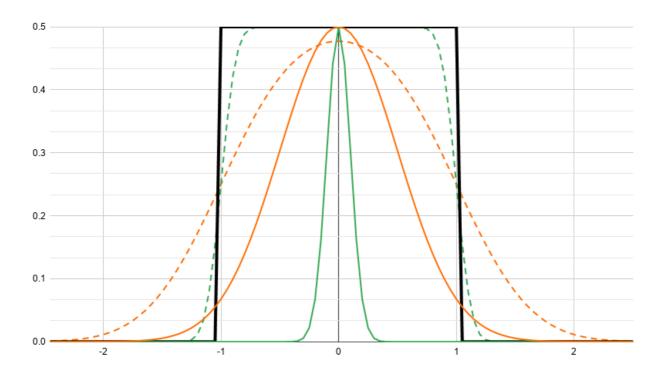


Figura B.2: El ejemplo de la Fig. B.1, se resuelve a través de una convolución de la función de error del pronosticador (curvas sólidas verde y naranja) y una distribución uniforme dentro del segmento elegido (curva negra solida). Las curvas en color en líneas discontinuas muestran el error de un pronosticador con un dado error cuando debe pasar sus resultados por el "filtro" de la segmentación. La línea verde sólida representa un error bajo (desviación estándar 0,1) y la naranja un error proporcionalmente alto (desviación estándar 0,5). El resultado final de la convolución muestra que los errores respectivos aumentan (curva verde, desviación estándar 0,58; curva naranja, desviación estándar 0,76). Notar que la varianza de la distribución obtenida es simplemente la suma de las varianzas de las distribuciones que participaron en la convolución (la varianza de la distribución uniforme es 0,57).

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. http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/866

Benjamin S.G. y coautores, 2016: A North American Hourly Assimilation and Model Forecast Cycle: The Rapid Refresh. *Mon. Wea. Rev.*, **144**, 1669-1694.

https://journals.ametsoc.org/mwr/article/144/4/1669/72374/A-North-American-Hourly-Assimilation-and-Model





Brandt S., 2014: Data Analysis Statistical and Computational Methods for Scientists and Engineers. Springer, New York, Cuarta edición, 523 p.

Cintineo, J. L., y coautores, 2018: The NOAA/CIMSS ProbSevere Model: Incorporation of Total Lightning and Validation. *Wea. Forecasting*, **33**, 331–345, https://doi.org/10.1175/WAF-D-17-0099.1.

de Elía R., 2019: Los pronósticos probabilísticos: algunas cuestiones generales. Nota Técnica SMN 2019-57. http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/1151

de Elía R., 2020: Reflexiones sobre los pronósticos probabilísticos de alta incertidumbre. Nota Técnica SMN 2017-66. http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/1247

de Elía R., M. Gené, V. Sala, P. Loyber, Y. García Skabar, M. Arianna, 2020: Un salto en la potencia de cálculo en el SMN: cómo se adquirió el nuevo HPC. Nota Técnica SMN 2020-67. http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/1296

de Vos L. W., H. Leijnse, A. Overeem, and R. Uijlenhoet, 2019: Quality control for crowdsourced personal weather stations to enable operational rainfall monitoring. Geophys. Res. Lett., 46, 8820 –8829, https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2019GL083731

Dillon M.E., C. Matsudo, Y. García Skabar, M. Sacco y M. Alvarez Imaz, 2020: Implementación del sistema de pronóstico numérico en el HPC: Configuración del ensamble. Nota Técnica SMN 2020-79. http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1403

Herzman D., 2011: The Illusion of Storm Based Warnings. Central Iowa NWA conference on the National Weather Service's Storm Based Warning system. Disponible en video en https://www.youtube.com/watch?v=UGcjFrbpuRg&feature=youtu.be&t=668

Ishikame, G., Lohigorry, P., Irurzun, P., Pappalardo, L., Sanchez Marino, M., Russian, G. y de Elía, R., 2019: Pronósticos a muy corto plazo en el apoyo meteorológico a los JJOO de la Juventud Buenos Aires 2018. Nota Técnica SMN 2019-54. http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/983

Lohigorry P., R. de Elia, G. Russian, 2018: Pronóstico de muy corto plazo en el Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2018-46. http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/874

NWS, 2018: Impact-Based Decision Support Services for NWS Core Partners. National Weather Service (NWS) Service Description Document (SDD), 24 pág. https://www.weather.gov/media/coo/IDSS SDD V1 0.pdf

San Martino F., S. Pérez, G. Russian, 2019: Verificaciones de pronósticos a muy corto plazo en el SMN. Nota Técnica SMN 2019-64. http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/1241

Gneiting T., A. E. Raftery, 2007: Strictly Proper Scoring Rules, Prediction, and Estimation. Journal of the American Statistical Association, 102:477, 359-378, DOI: 10.1198/016214506000001437

WMO, 2012: Guide to Agricultural Meteorological Practices. WMO No 134. https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/gamp/documents/WMO No134 en.pdf

WMO, 2019: Guidance on Integrated Urban Hydrometeorological, Climate and Environmental Services - Volume I: Concept and Methodology. WMO-No. 1234, 42 pp. https://library.wmo.int/doc num.php?explnum id=9903





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).

