

Detección automática de ascendentes intensas mediante imágenes satelitales y su relación con tiempo severo

Nota Técnica SMN 2021-115

Luciano Vidal¹ y Kristopher Bedka²

¹ *Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios - Servicio Meteorológico Nacional*

² *NASA Langley Research Center, Hampton, Virginia (USA)*

Diciembre 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

Numerosos estudios basados en datos de sensores remotos, especialmente de satélites, muestran que la frecuencia de convección húmeda profunda asociada con una variedad de fenómenos meteorológicos severos (ej., granizo grande, lluvias intensas, vientos dañinos, entre otros) es muy alta en la parte sur de Sudamérica, especialmente en Argentina. En presencia de tormentas severas, las imágenes satelitales generalmente presentan ciertas características o patrones espaciales muy útiles al momento de diagnosticar cuán probable es la ocurrencia de algún fenómeno severo como los mencionados, en el marco del proceso de elaboración de un alerta a muy corto plazo en una oficina operativa de pronóstico. Por ende, el desarrollo de algoritmos que ayuden a la detección automática de estos patrones ha sido foco de atención de numerosos investigadores alrededor del mundo. En particular, el grupo de investigación liderado por el Dr. Kristopher Bedka ha desarrollado un producto denominado "NASA LaRC Gridded Overshooting Cloud Top Detection", el cual, en el marco de un proyecto de colaboración con el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina se tuvo acceso para realizar una primera evaluación en nuestra región para la estación cálida 2019-2020.

Abstract

Numerous studies based on remote sensing data, especially from satellites, show that the frequency of deep moist convection associated with a variety of severe weather events (e.g., large hail, heavy rain, damaging winds, etc.) is very high in the southern South America, especially in central and northern Argentina. In the presence of severe storms, satellite images generally present particular signatures or spatial patterns that are very useful when diagnosing how likely the occurrence of a severe phenomenon such as those mentioned is, within the framework of the process of preparing a very short-term alert in an operational forecasting office. Therefore, the development of algorithms that help to automatically detect these severe signatures has been the focus of attention of many researchers around the world. In particular, the research group led by Dr. Kristopher Bedka has developed a product called "NASA LaRC Gridded Overshooting Cloud Top Detection", which within the framework of a collaboration project with the National Meteorological Service of Argentina, was accessed to carry out a first evaluation in our region for the warm season 2019-2020.

Palabras clave: ascendentes intensas, overshooting tops, GOES-16, detección automática, tiempo severo.

Citar como:

Vidal, L. y K. Bedka, 2021: Detección automática de ascendentes intensas mediante imágenes satelitales y su relación con tiempo severo. Nota Técnica SMN 2021-115.

1. INTRODUCCIÓN

Numerosos estudios basados en datos de sensores remotos, especialmente de satélites, muestran que la frecuencia de convección húmeda profunda asociada con una variedad de fenómenos meteorológicos severos (ej., granizo grande, lluvias intensas, vientos dañinos, entre otros) es muy alta en la parte sur de Sudamérica, especialmente en Argentina, en comparación con otras regiones del mundo (Zipser y otros, 2006; Rasmussen y otros, 2014; Feng y otros, 2021). Tan relevantes son las tormentas en la región central de nuestro país que hacia fines de 2018 se desarrolló el experimento de campo RELAMPAGO (Remote sensing of Electrification, Lightning, And Mesoscale/microscale Processes with Adaptive Ground Observations) con foco en la convección severa que se desarrolla al este de las Sierras de Córdoba y en Mendoza (Nesbitt y otros, 2021).

El glosario de meteorología de la Sociedad Meteorológica Estadounidense (AMS; (Glickman, 2000)) define a un overshooting top (OT) como una protuberancia en forma de domo por encima de un yunque de un cumulonimbus, que representa la intrusión de una corriente ascendente a través de su nivel de equilibrio (Figura 1). Es decir, los OTs indican la presencia de una corriente ascendente convectiva profunda con la fuerza suficiente para penetrar la tropopausa e ingresar en la baja estratosfera. Esto puede ocurrir con cualquier nube cumulonimbus en un entorno con mucha inestabilidad.



Figura 1: Vista lateral de una tormenta convectiva en las costas de Sarasota (Florida, USA), tomada el 29 de julio de 2018 (15:45 UTC), con una protuberancia en la parte superior que sobresale por encima del yunque de la tormenta. (Foto: Luciano Vidal).

Los OT se identifican más fácilmente en imágenes de canales visibles (VIS) de alta resolución ya que presentan una textura grumosa (apariencia de coliflor; Fig. 2 izq.). Sin embargo, con estas imágenes solo se pueden identificar durante el día. Por lo tanto, los métodos basados en imágenes provenientes de la ventana infrarroja (IRW por sus siglas en inglés; $\sim 11 \mu\text{m}$) parecen ser los más indicados para incluir ya que ofrecen una disponibilidad durante todo

el día. En estas imágenes un pequeño grupo de píxeles muy fríos puede indicar la presencia de un OT (Fig. 2 der.). Sin embargo, no siempre el OT está representado por un mínimo de temperatura de brillo (en adelante Tb), especialmente en casos de tormentas cuyos topes presentan forma de anillo frío. En tales casos, la Tb del OT puede ser similar a la temperatura del área del anillo frío e incluso, en algunos casos, una parte del OT puede ubicarse en el llamado punto cálido central (Štáštka y Setvák, 2008).

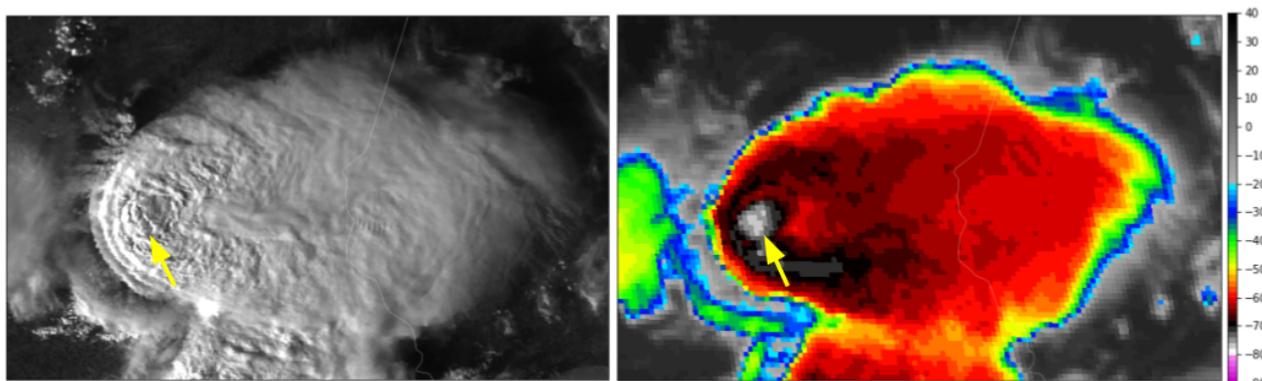


Figura 2: Ejemplo de un OT (flecha) observado por el satélite GOES-16 el día 11 de diciembre de 2019 a las 18:20 HOA en el este de la provincia de Córdoba. A la izquierda se muestra la imagen de reflectancia correspondiente al canal 2 ($0.64 \mu\text{m}$; rango visible) y a la derecha el campo de temperatura de brillo del canal 13 ($10.3 \mu\text{m}$; ventana infrarroja limpia).

Para ello, numerosos estudios basados en satélites han presentado diferentes métodos objetivos de detección de OT mediante abordajes multispectrales, como Berendes y otros (2008); Lindsey y Grasso (2008); Setvák y otros (2007, 2010), entre otros. Uno de los métodos más populares para la detección de OTs es el basado en la diferencia de temperatura de brillo (BTD por sus siglas en inglés Brightness Temperature Difference) entre la banda de absorción de vapor de agua y la banda de la ventana infrarroja (BTD WV-IRW; Fritz y Laszlo 1993, Ackerman 1996, Schmetz y otros 1997). Sin embargo, este método adolece de un número significativo de falsas alarmas provocadas por anomalías en el vapor de agua, como describen Setvák y otros (2008a). Más recientemente, Bedka y otros (2010) describen un método más complejo para la detección objetiva de OTs, llamado "textura IRW", que utiliza una combinación de la Tb del canal IRW $10.8 \mu\text{m}$, un pronóstico de temperatura de la tropopausa a partir de un modelo numérico de predicción meteorológica, y el tamaño de OT y los criterios de Tb definidos mediante el análisis de 450 eventos de tormentas en EE.UU. (Brunner y otros 2007). Este método utiliza gradientes espaciales de Tb para identificar grupos de píxeles que son significativamente más fríos que el yunque circundante.

Las tormentas que presentan patrones característicos de tiempo severo, como anillos fríos o formas U/V frías (Setvák y otros, 2010; Brunner y otros, 2007), son consecuencia de la presencia de actividad convectiva muy fuerte con potentes corrientes ascendentes, representadas por los OTs. Numerosos estudios han demostrado que las tormentas convectivas con alguna de estas características con frecuencia producen condiciones meteorológicas peligrosas a nivel de superficie, como vientos dañinos (Heymsfield y otros, 1991; Dworak y otros, 2012), lluvias fuertes (Negri y Adler, 1981), granizo grande (Mikuš Jurković y otros, 2015; Brunner y otros, 2007) y tornados (Brunner y otros, 2007; Bluestein y otros, 2019). Por otro lado, la turbulencia y la actividad de rayos nubes-tierra también ocurren con frecuencia cerca de la región del OT (Machado y otros, 2009; Bedka y otros, 2010). Teniendo en cuenta esto es que numerosos estudios han investigado las posibles aplicaciones de la detección de OT para el pronóstico a muy corto plazo.

El potencial que ofrecen los nuevos datos satelitales provistos por el satélite GOES-16 abren un camino hacia el

desarrollo integral de herramientas para el diagnóstico y monitoreo de los sistemas convectivos en nuestra región y sus patrones característicos asociados antes mencionados (Schmit y otros, 2017; Goodman y otros, 2013).

Luego, mediante el uso de algoritmos automatizados que detectan y caracterizan los OT y las nubes convectivas profundas desarrollados en el Centro de Investigación Langley (LaRC) de la NASA, esta Nota Técnica tiene como objetivo resumir la actividad de OTs durante el verano austral 2019-2020 en el centro y norte de Argentina mediante el producto **NASA LaRC Gridded Overshooting Cloud Top Detection**. Además, para avanzar en la primera validación de la presencia de OTs y tiempo severo en Argentina, se incluirán reportes de granizo y otros fenómenos (i.e., vientos dañinos, fuertes lluvias) obtenidos de redes sociales y medios digitales.

2. NASA LaRC Gridded Overshooting Cloud Top Detection

Una descripción más completa y detallada sobre el algoritmo de detección de OT utilizado para generar el producto que se evalúa en esta Nota Técnica puede encontrarse en Bedka y Khlopenkov (2016) y más recientemente en Khlopenkov y otros (2021). Los autores presentan un nuevo enfoque de detección multispectral (VIS e IRW) de OTs que busca minimizar el uso de criterios de detección fijos (umbrales) y trata de emular el proceso utilizado por un ser humano para identificar en primer lugar yunques asociados a convección profunda para luego identificar los OTs embebidos realizando el reconocimiento de patrones espaciales. El resultado neto es una probabilidad de OT a escala de una tormenta individual (siempre definida desde la óptica del satélite), lo que permite mejorar la capacidad para identificar y pronosticar tormentas severas en tiempo real, además de permitir derivar tendencias a largo plazo relacionadas con la actividad de este tipo de tormentas tan peligrosas como ya se mencionó con anterioridad.

El conjunto principal de datos utilizados por los autores para el desarrollo y la validación del algoritmo de detección de OT proviene del sensor MODIS (VIS [$0.65\mu\text{m}$] e IRW [$11.0\mu\text{m}$]) a bordo del satélite Aqua. Luego un humano experto analizó de forma manual e independiente un conjunto de cien gránulos MODIS de 5 min para determinar las ubicaciones de los OT tanto en las imágenes VIS como IRW (Fig. 3). A fin de no afectar el proceso de identificación por parte del experto, los datos de MODIS se mantuvieron en su resolución espacial original (0.25 km para VIS y 1.0 km para IRW). El algoritmo utiliza diferencias en las características observadas por satélite de regiones con OT y sin OT, y las relaciones entre la temperatura de brillo IRW y los datos del análisis MERRA (Rienecker y otros, 2011) para asignar una probabilidad OT aplicando un método de regresión logística. La probabilidad del OT se puede interpretar como una métrica de la intensidad de la tormenta y una estimación de la confianza en la detección de un píxel en particular.

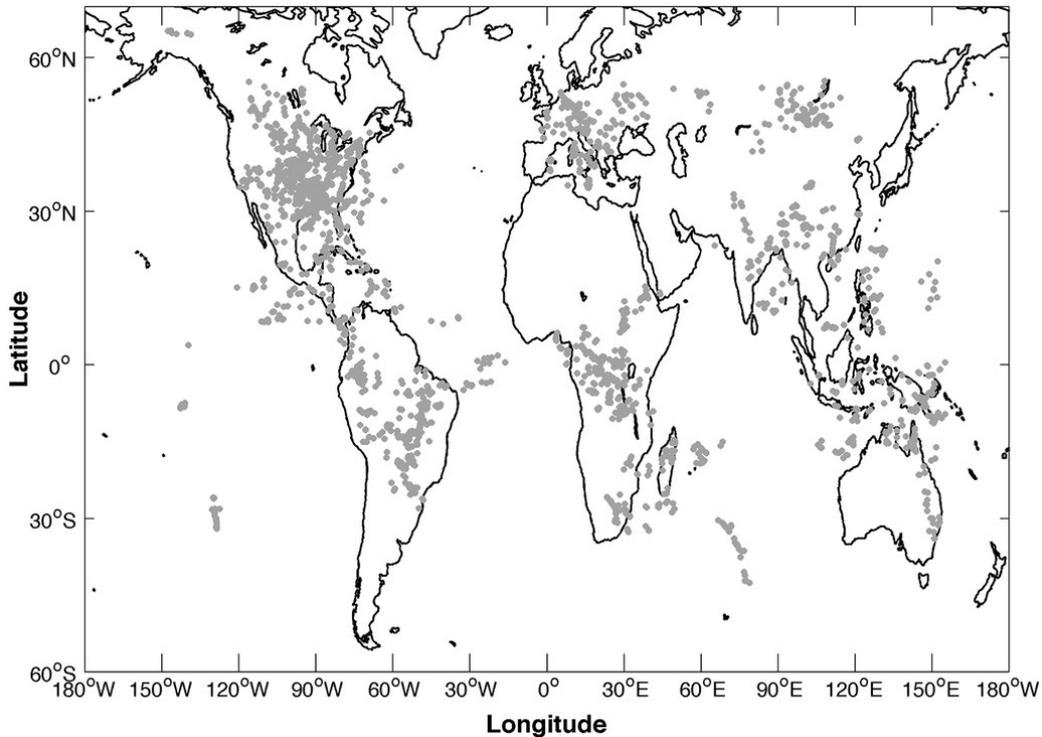


Figura 3: Mapa con las ubicaciones de los OT (círculos grises) identificadas dentro de 100 gránulos de imágenes MODIS utilizados por Bedka y Khlopenkov (2016) para el cálculo de probabilidades.

A modo de resumen, el objetivo general del algoritmo es reproducir el análisis utilizado por un pronosticador para identificar convección profunda en una imagen satelital y las características propias de los OTs de una manera integral. La convección profunda generalmente tiene un área espacialmente coherente de temperaturas de tope frías con un borde asociado al yunque bien diferenciado (Fig. 2 der.), que marca la transición de la nube a la superficie más cálida de la Tierra. Una vez que se identifican las nubes convectivas profundas, el pronosticador se centraría en sus yunques para identificar donde se ubican el o los OT/s. La validación llevada a cabo por Bedka y Khlopenkov (2016) utilizando una base de datos de OTs identificados por expertos muestra que, para una tasa de falsas alarmas comparable, este nuevo enfoque ofrece una mejora significativa en la tasa de detección de OT en relación con el método propuesto por Bedka y otros (2010). A modo de ejemplo, en la Figura 4 se muestra la salida del algoritmo de detección para el día 29 de noviembre de 2019 entre las 19:00 y las 20:00 HOA.

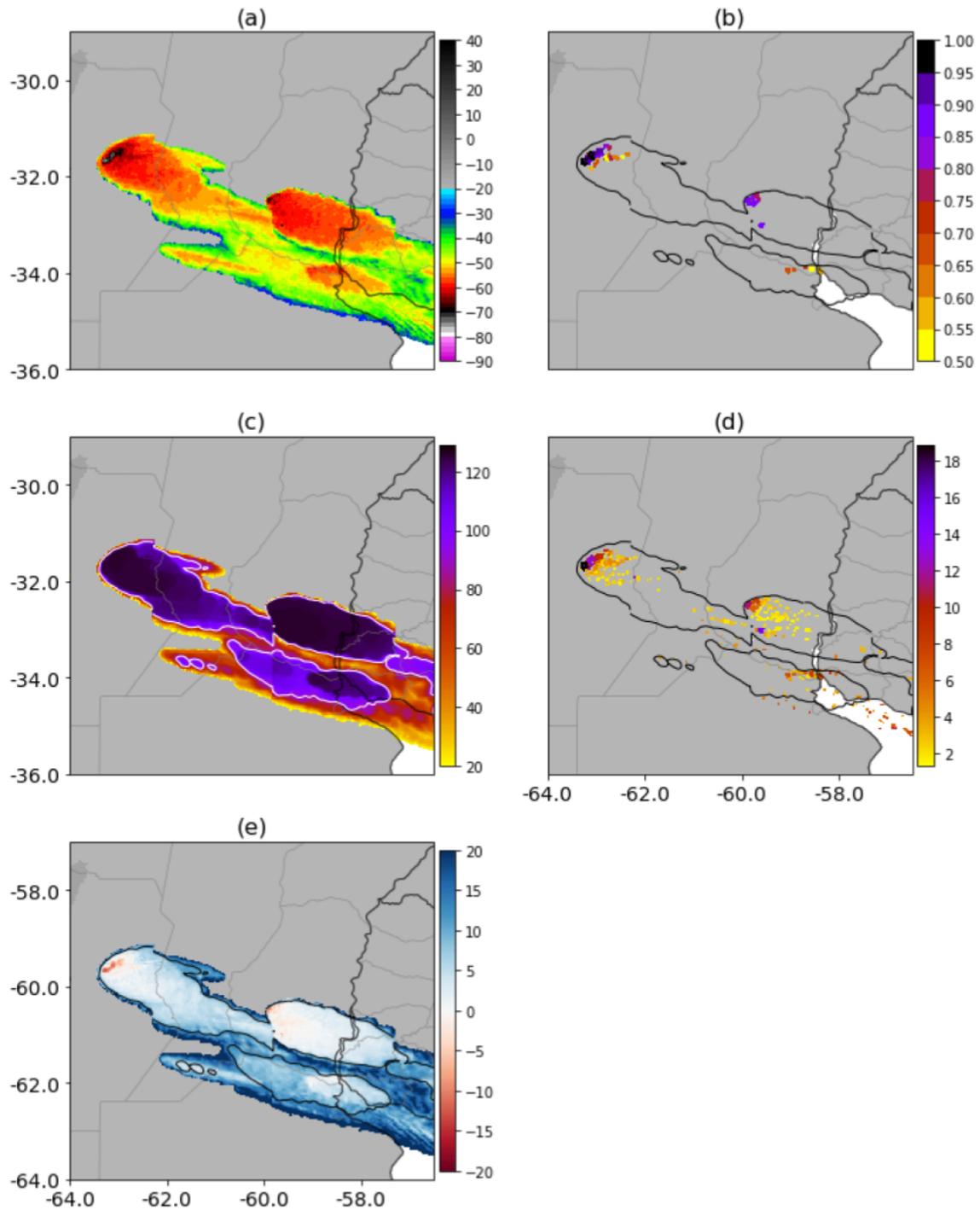


Figura 4: Ejemplo de salida del producto NASA LaRC Gridded Overshooting Cloud Top Detection para el día 29/11/2019. Los resultados corresponden a una ventana de integración de 1 hora entre las 19:00 y 20:00 HOA. (a) Temperatura de brillo mínima IR10.3; (b) Probabilidad máxima del OT, (c) Índice de detección del yunque basado en el canal IR 10.3; (d) Diferencia máxima media entre la temperatura del OT y la del yunque; y (e) Diferencia mínima entre la temperatura del OT y la tropopausa calculada con el análisis MERRA-5. La línea continua es el valor del índice de detección del yunque igual a 90.

3. DESCRIPCIÓN GENERAL

3.1. Distribución espacial

La distribución espacial de los OT identificados por el algoritmo cuya probabilidad es mayor o igual al 50% se muestra en la Figura 5. El primer rasgo sobresaliente es que toda la actividad de OT se observa al este de la Cordillera de los Andes y al norte del paralelo de 40°S, además de mayormente presentarse sobre el continente y muy poco sobre el mar. Siendo que los OT, como se mencionó en la introducción, son una expresión de la presencia de corrientes ascendentes intensas asociadas a convección húmeda profunda, no es de extrañar que esta distribución espacial coincida con las numerosas climatologías satelitales ya documentadas para esta región (Zipser y otros, 2006; Salio y otros, 2007; Cancelada y otros, 2020; Feng y otros, 2021).

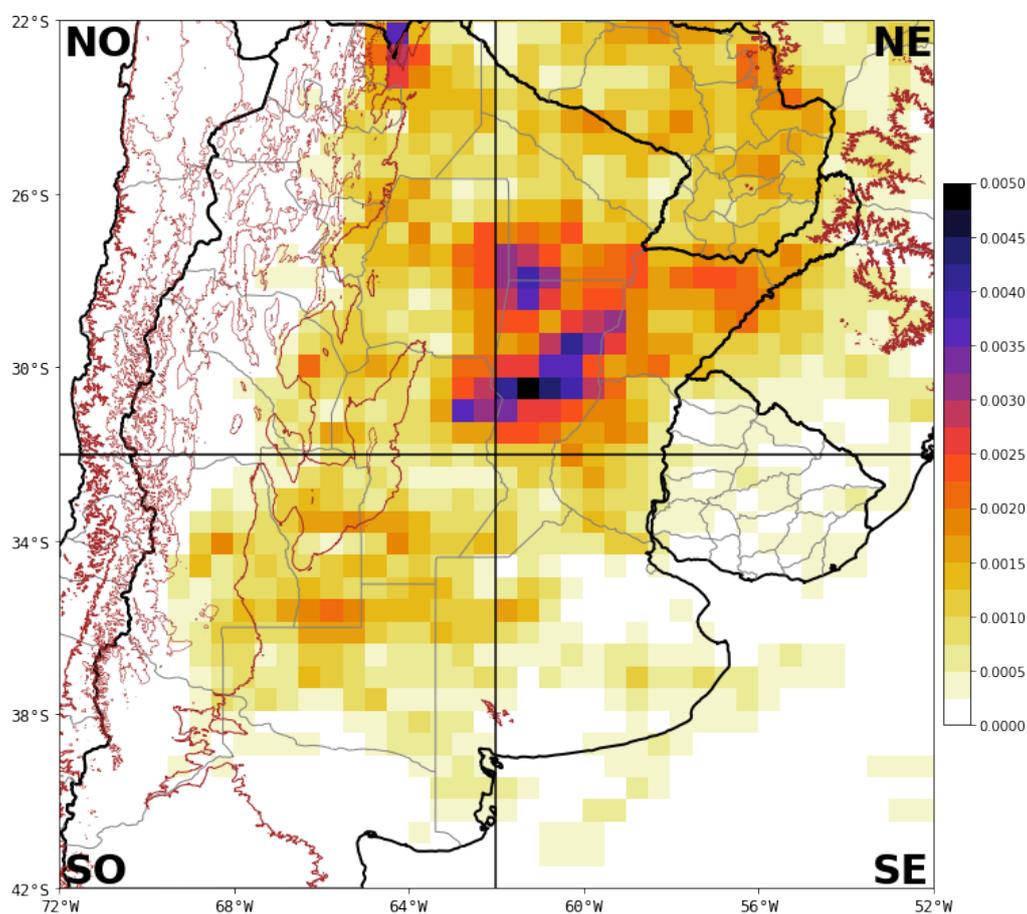


Figura 5: Mapa de densidad de OT detectados por el algoritmo con una probabilidad igual o mayor al 50% entre el 1 de noviembre de 2019 y el 31 de marzo de 2020. La resolución espacial es de 0.5 grados x 0.5 grados. En línea continua marrón se indica la topografía (500m, línea gruesa). Además se muestran las cuatro regiones que se analizarán en la Sección 3.2

En términos relativos la mayor concentración de OTs se observa sobre el centro-este de Argentina y en el norte de Salta, en el límite con Bolivia (región Noroeste; NOA). Si bien los resultados aquí mostrados corresponden sólo a una estación cálida (2019-2020), estas zonas se correlacionan muy bien con regiones donde ya varios autores, y analizando periodos de tiempo más largos, han mostrado que se trata de regiones donde domina la actividad

de sistemas convectivos de mesoescala (SCM). En la zona central de Argentina se da el inicio y madurez de los mismos (Rasmussen y Houze, 2016; Mulholland y otros, 2018; Cancelada y otros, 2020; Borque y otros, 2020), mientras que en la región del NOA es frecuente observar SCM más de tipo estacionario solidarios a la precordillera de los Andes (Vidal, 2014; Rasmussen y otros, 2016).

Sobre el centro-sur de Argentina también se observa una mayor concentración de OT, en particular sobre el este de Mendoza, norte de La Pampa, San Luis, sur de Córdoba y noroeste de Buenos Aires. Esta región también se caracteriza por una marcada actividad climatológica de SCMs, principalmente como zonas de génesis de estos sistemas durante la primavera y el verano. Esta iniciación de la convección muchas veces se asocia con el desarrollo de líneas secas tal como lo documenta Bechis y otros (2020).

3.2. Ciclo diurno

El ciclo diurno de los OTs detectados con una probabilidad de 50 % (azul) y 95 % (rojo) se muestra en la Figura 6. Este último porcentaje es arbitrario y solo busca evaluar el comportamiento de los OT cuya confianza de detección es mayor. El comportamiento es muy similar al ciclo diurno de la convección en esta región como han mostrado otros autores. Se presenta un doble máximo en horas de la tarde (entre las 15:00 y las 18:00 HOA) y primeras horas de la noche (entre las 21:00 y la medianoche) y un mínimo durante las primeras horas de la mañana (entre las 08:00 y las 12:00 HOA). Es importante aquí mencionar que como se comentó anteriormente, los OT son un indicativo de la presencia de corrientes ascendentes penetrativas intensas, que en general se dan en las etapas iniciales de un sistema convectivo, por ende es de esperar que el ciclo diurno mostrado en la Figura 6 responda más a lo encontrado por otros autores respecto de las horas de iniciación de la convección en esta zona del continente siempre desde el punto de vista satelital.

En tal sentido, Torres (2003) encuentra que los SCMs altamente precipitantes estudiados se inician preferentemente a partir de las primeras horas de la tarde y hasta comienzos de la madrugada local. Un resultado similar encuentran Salio y otros (2007) donde los sistemas estudiados presentan un máximo de iniciación entre las 15:00 y las 21:00 hora local. Por su parte, Anabor y otros (2008) encuentran un doble pico para el momento de las primeras tormentas, uno cercano a la medianoche local y otro a la mañana. Durkee y Mote (2010) encuentran que la mayor frecuencia de inicio (utilizan la isoterma de 221K para identificar los sistemas) sobre la región subtropical de Sudamérica se da entre aproximadamente las 15 y las 00 hora local. Más recientemente Vidal (2014) encuentra que la región central de Argentina tiende a ser más activa hacia el final de la tarde (entre las 18:00 y las 21:00 hora local), mientras que la actividad convectiva en la porción norte se presenta más en fase con el calentamiento radiativo (entre las 15:00 y las 18:00 hora local).

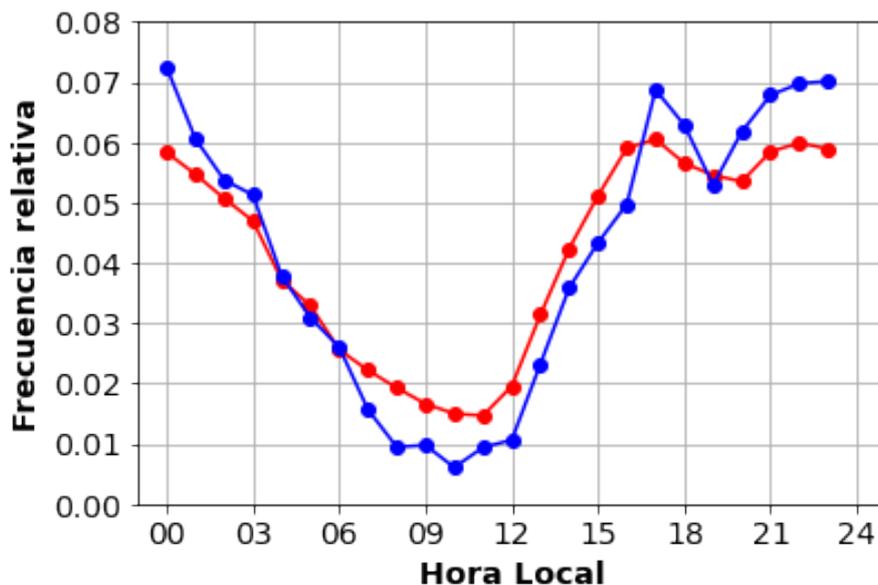


Figura 6: Ciclo diario de los OTs tomando todo el dominio mostrado en la Figura 4. La curva roja corresponde a los detectados con una probabilidad mayor que 50% (N=1561327), mientras que la curva azul a una probabilidad de detección de 95% (N=208072).

Estas particularidades geográficas se evidencian cuando se analiza el ciclo diario por regiones (Fig. 7). La región NO presenta un máximo absoluto cerca de la medianoche y muy poca presencia de OTs entre las 06:00 y las 12:00 HOA (mínimo climatológico de actividad convectiva en SESA). En la región SO, en cambio, la máxima actividad de OTs se da entre las 18:00 y las 21:00 HOA, donde la topografía está jugando un rol importante en la iniciación de la convección más en fase con el calentamiento radiativo, tanto en Mendoza como en San Luis y el sur de Córdoba.

Por su parte la región NE presenta dos máximos, uno cerca de las 17:00 tal vez asociado al máximo calentamiento radiativo y otro hacia las 22:00, que podrían estar respondiendo a nuevas iniciaciones producto del avance de sistemas convectivos formados hacia el sudeste. Por último en la región SE domina un máximo en horas de la madrugada entorno de las 03:00.

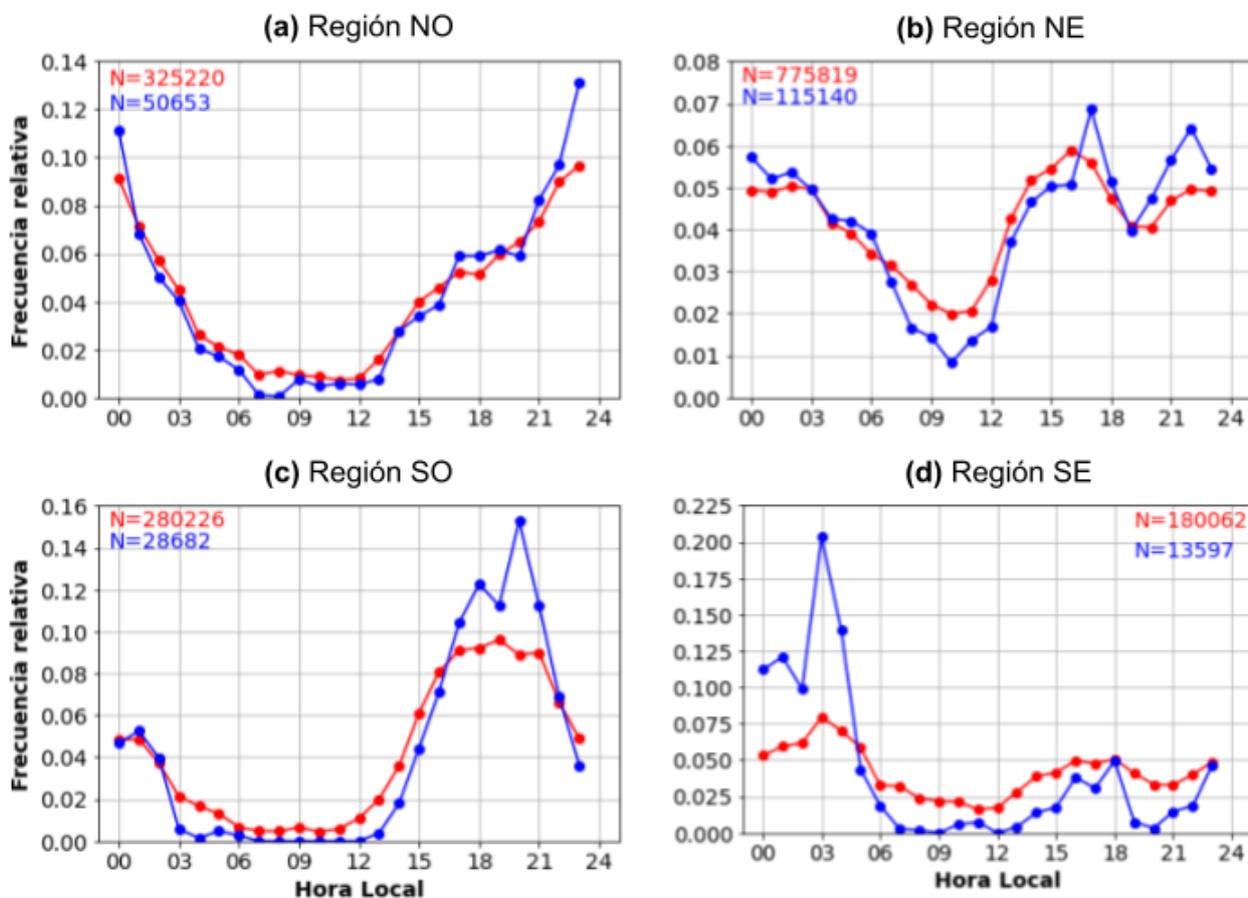


Figura 7: Idem Figura 6 pero para las regiones indicadas en la Figura 5. Con la letra N se indica la cantidad de OTs detectados en cada región con una probabilidad de 50% (rojo) y 95% (azul).

3.3. Propiedades de los OT

En la Figura 8 se muestran diferentes diagramas de cajas (box plot) de tres parámetros asociados a los OT detectados por el algoritmo en esta región de Argentina: la temperatura de brillo, la diferencia de temperatura entre el OT y la tropopausa, y la diferencia de temperatura entre el OT y el yunque. Este último generalmente se ubica cerca del nivel de equilibrio y la diferencia de temperatura es utilizada como un indicador de la intensidad o magnitud del OT (Bedka y otros, 2010).

Respecto de la temperatura de los OT, se observa que a medida que disminuye la incertidumbre asociada a la detección, la temperatura también disminuye, alcanzando la mediana valores levemente inferiores a -80°C para probabilidades de detección entre 95 y 100 %.

Un comportamiento similar se observa cuando se analiza la distribución de los valores de la diferencia de temperatura entre el OT y la tropopausa (Fig. 8b), donde también a medida que aumenta la confianza en la detección, esta diferencia llega a tomar valores de mediana cercanos a -7.5°C . Por como se hace la resta, valores negativos significan que el OT está más frío que la tropopausa o lo que es lo mismo, cuánto más arriba respecto de la tropopausa se encuentra el OT.

Por último, cuando se analiza el comportamiento de la diferencia de temperatura entre el OT y el yunque de la

tormenta asociada (Fig. 8c), esta aumenta a medida que disminuye la incertidumbre en la detección del OT, llegando a valores cercanos a 8°C para probabilidades de detección de entre 95 y 100 %.

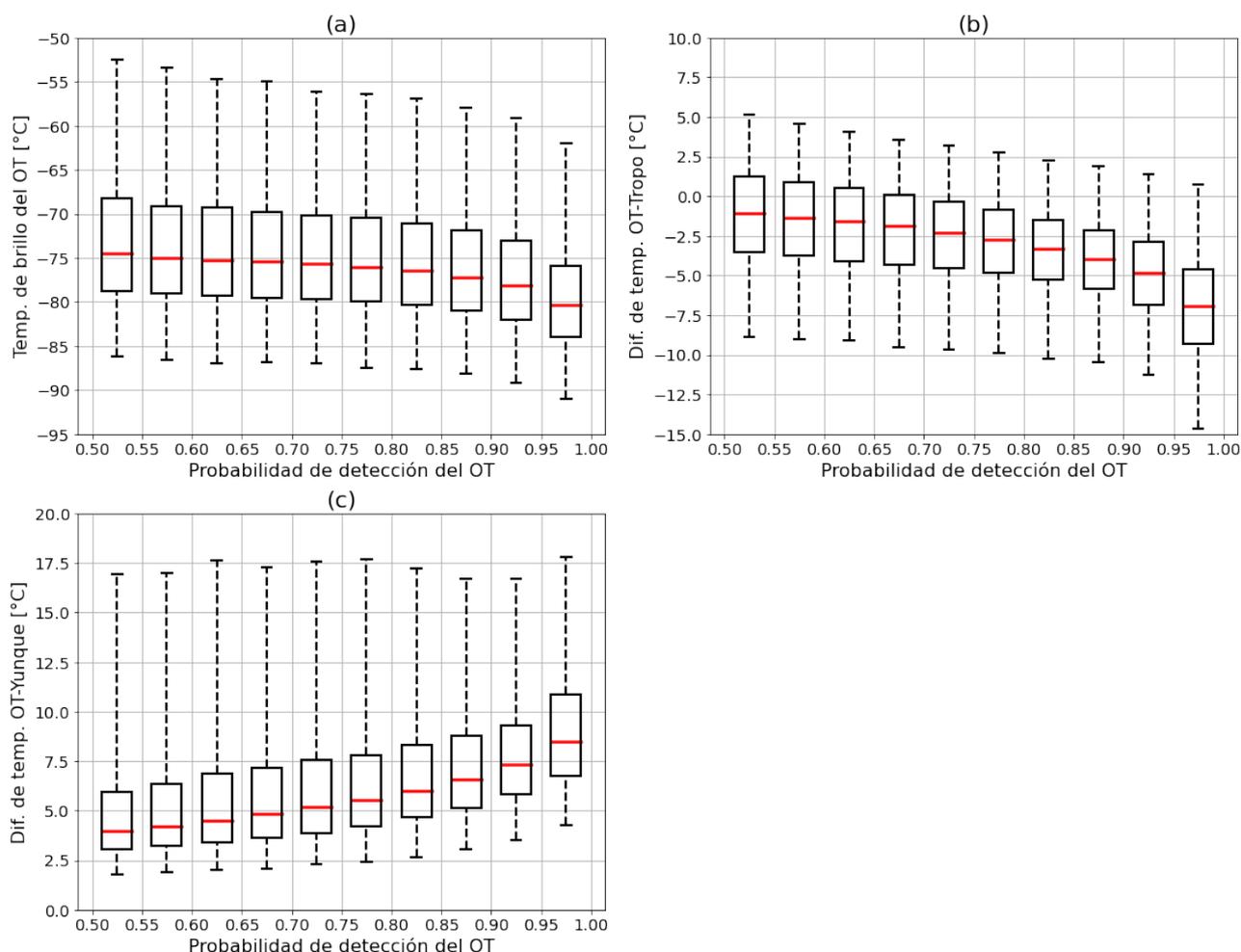


Figura 8: Diagramas de caja de tres parámetros de los OTs. (a) Temperatura IR10.3 del OT en función de la probabilidad de detección del OT. (b) Ídem (a) pero para la diferencia de temperatura entre el OT y la tropopausa. (c) Ídem (a) pero para la diferencia de temperatura entre el OT y el yunque. La línea roja representa la mediana, mientras que el borde superior e inferior de la caja corresponden a los percentiles 75% y 25% respectivamente. El límite de los valores atípicos se indican con los percentiles del 1% y 99%

4. RELACIÓN CON TIEMPO SEVERO

Bedka (2011) realizó un trabajo en Europa empleando datos del sensor SEVIRI a bordo del satélite MSG como entrada para una versión anterior del algoritmo de detección automática de OTs. Para analizar la relación con tiempo severo utilizó los reportes de la European Severe Weather Database (Dotzek y otros, 2009). Como conclusiones el autor propone que si el acuerdo entre la presencia de un OT y un reporte de tiempo severo fuera muy bueno, entonces la salida del algoritmo de detección OT podría usarse como un parámetro adicional para aumentar la confianza del pronosticador de que una dada tormenta está generando tiempo severo en superficie, especialmente en regiones con escasa cobertura de radares meteorológicos. Pero el autor hace hincapié en el hecho que no se podría responder la pregunta inversa y, en última instancia más útil, y es con qué frecuencia se podría esperar que ocurra

un evento severo cerca de cualquier OT detectado. Esto se debe a que el análisis de la frecuencia de tiempo severo cerca de cualquier detección de OT no se puede realizar de manera completa porque los fenómenos de tiempo severo de origen convectivo, dada su extensión espacial y temporal, a menudo no se registran, especialmente en áreas escasamente pobladas o sobre cuerpos de agua (Dobur 2005; Cecil 2009).

En la presente Nota Técnica el análisis se focalizará en evaluar la frecuencia de detecciones de OT cerca de reportes de fenómenos meteorológicos severos en el centro de Argentina durante el verano 2019-2020 (desde el 1 de noviembre de 2019 hasta el 29 de febrero de 2020). Los reportes forman parte de una base de datos elaborada para este propósito en base a reportes de granizo y otros fenómenos (i.e., vientos dañinos, lluvias intensas) obtenidos a partir de redes sociales (Twitter, Facebook e Instagram) y medios periodísticos digitales. Se cuenta para ello con un total de **217 reportes** que fueron asociados con los siguientes fenómenos severos: granizo, daño por viento y lluvia intensa. En la Figura 9 se muestra la distribución espacial de dichos reportes.

Del total de reportes, aproximadamente el 73 % (158 reportes) se corresponde con la presencia de granizo, un 45 % (98 reportes) con presencia de daños por vientos fuertes y un 50 % (110 reportes) por inundaciones repentinas productos de lluvias intensas en cortos períodos de tiempo. Es importante mencionar que estos porcentajes no son excluyentes. Para el caso particular de los reportes con granizo además se estimó el diámetro máximo observado a través de fotos y/o videos disponibles, encontrándose que de los 158 reportes con granizo disponibles, un 64 % se asoció con la presencia de granizo severo (>2.5cm y <5cm; 101 reportes) y un 10 % a muy severo (>5cm; 16 reportes). Cabe mencionar que estos reportes asociados a granizo pudieron o no haber estado asociado también a la presencia de ráfagas fuertes de viento o lluvias intensas. Pero dada la subjetividad de esta clasificación, no se explorará en esta Nota Técnica la relación entre las características de los OTs y el tamaño del granizo.

Para determinar la frecuencia de las detecciones de OT cerca de estos reportes de tiempo severo se propone seguir la metodología propuesta por Bedka (2011) y Dworak y otros (2012). Los autores proponen que cualquier detección de OT con una probabilidad mayor que 50 % dentro de una ventana de tiempo de +/- 30 min y un área alrededor del OT de radio igual a 25 km se considera una coincidencia. Según los autores estas ventanas de tiempo y espacio algo amplias tratan de tener en cuenta los siguientes aspectos: 1) la relación entre la velocidad máxima de desplazamiento de una tormenta (ej., 60 km/h) y la frecuencia temporal de las imágenes GOES-16 (entre 10 y 15 minutos), 2) el hecho de que una detección de OT podría preceder o posiblemente seguir a un reporte en superficie, 3) inclinación con la altura de la ascendente intensa, de modo que el reporte puede no coincidir perfectamente con la detección del OT, 4) precisión temporal y espacial de los reportes, 5) errores en la corrección de paralaje de las imágenes satelitales, y 6) errores de navegación de píxeles del satélite. No obstante, en esta Nota Técnica se analizaron otros radios para evaluar el porcentaje de coincidencia entre un reporte y la presencia de al menos un OT.

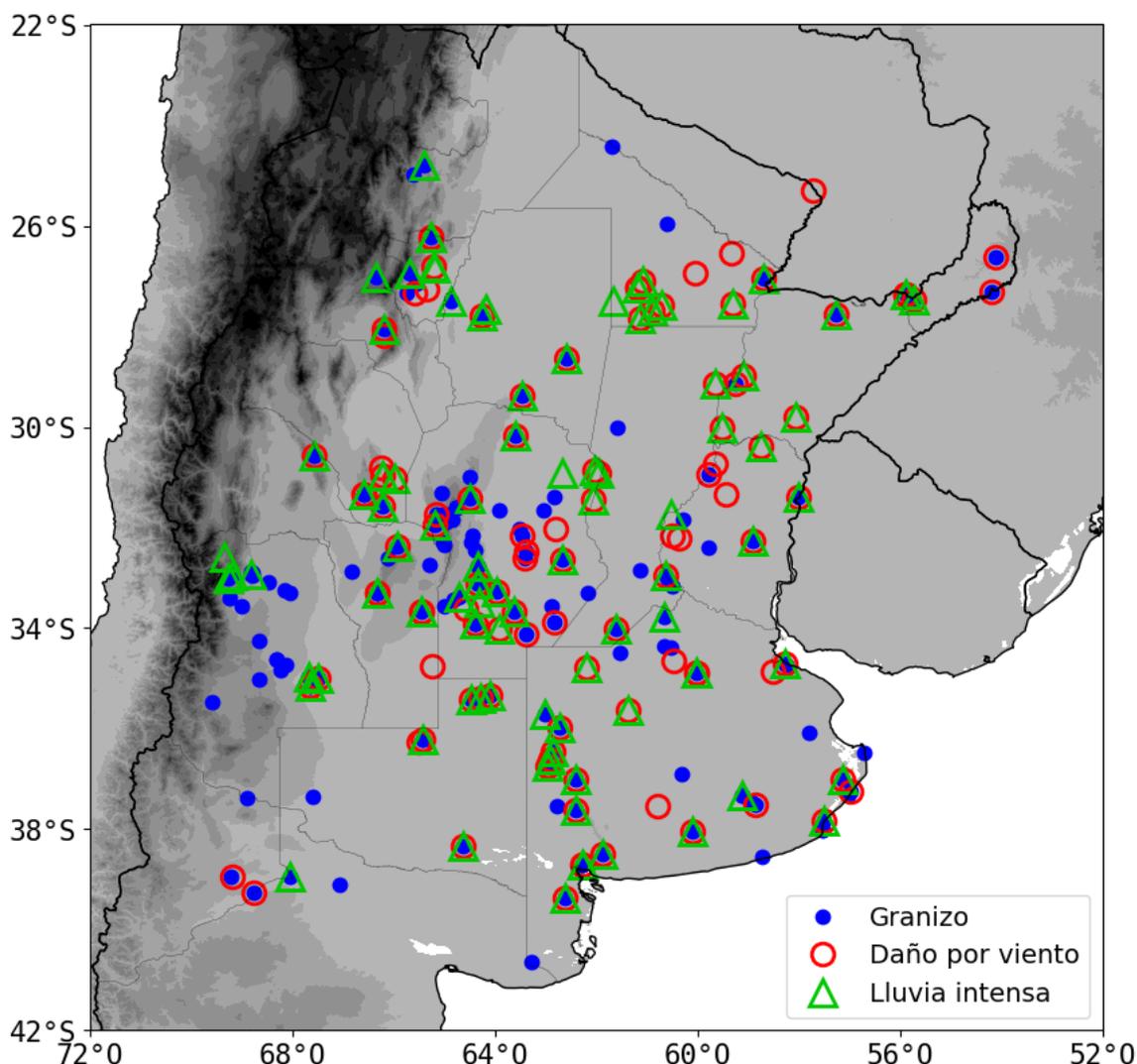


Figura 9: Localización de los reportes de tiempo severo empleados en la presente Nota Técnica correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2019 y el 29 de febrero de 2020. El total de reportes es de 217.

4.1. Descripción general

La Figura 10 muestra el porcentaje de reportes de tiempo severo asociados a un OT en función de la distancia al mismo. Se encontró al menos un OT en las cercanías (dentro de los 25 km de radio) de un reporte para 145 o 67 % de los 217 reportes incluidos. Cuando se compara este valor con trabajos previos en otras partes del mundo, Bedka (2011) para un mismo radio y en Europa encuentra un porcentaje del orden del 44 %. Por su parte, Dworak y otros (2012) utilizando dos radios (30 y 60 km) y centrandolo en EE.UU. para la estación cálida 2004-2009 encuentra un porcentaje de relación con OT del 42 y 54.8 %, respectivamente. En este trabajo, para un radio de 30 km el porcentaje se ubica entorno del 68.7 % (149 reportes) y para 60 km del 75 % (163 reportes).

Con el objetivo de explorar los parámetros mostrados en la Figura 8, pero para los topes emergentes asociados a reportes, la Figura 11 muestra cuatro diagramas de dispersión entre la temperatura de brillo del OT y (a) probabilidad máxima, (b) radio equivalente (se calcula a partir de la cantidad de píxeles que conforman el OT, asumiendo que el área de un píxel es de 2 km x 2 km y luego se calculo el radio de un círculo con dicha área), (c) la diferencia

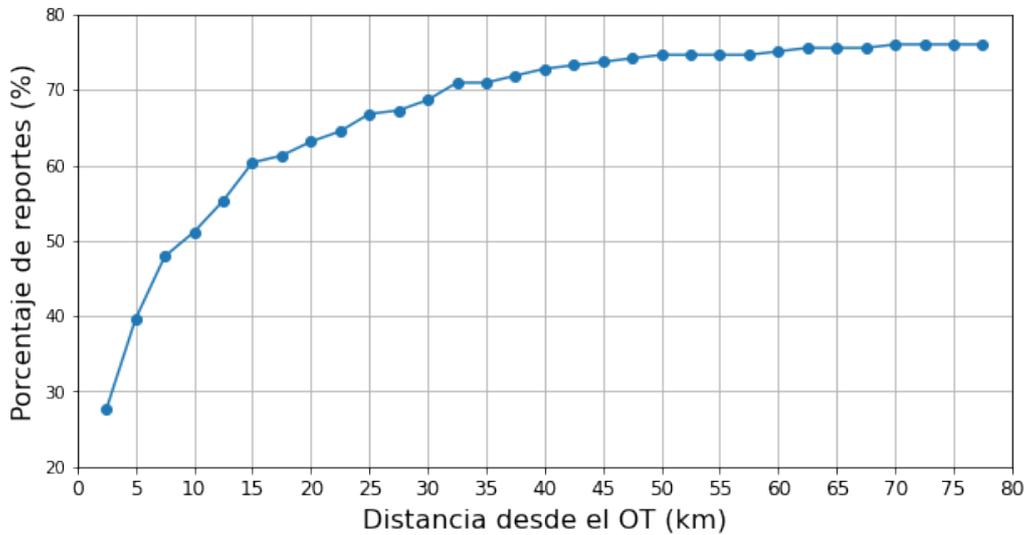


Figura 10: Porcentaje de reportes en función de la distancia al OT. El porcentaje esta calculado respecto del total de reportes disponibles (217).

de temperatura entre el OT y el yunque, y (d) la diferencia de temperatura entre el OT y la tropopausa. Se puede observar que el radio equivalente promedio se ubica entorno de los 6.1 km +/- 2.9 km, aunque algunos OT presentan un área de radio mayor a 10 km, con un OT que presentó un radio equivalente de 23.2 km (14/2/2020 07:30 UTC Charata, Chaco) y cuya temperatura de tope alcanzó los -93.8°C. Luego, cuando se analizan los diagramas de diferencia de temperaturas, el comportamiento es similar y éstas aumentan a medida que disminuye la temperatura del OT, con valores maximos que superan los 15°C e incluso los 20°C.

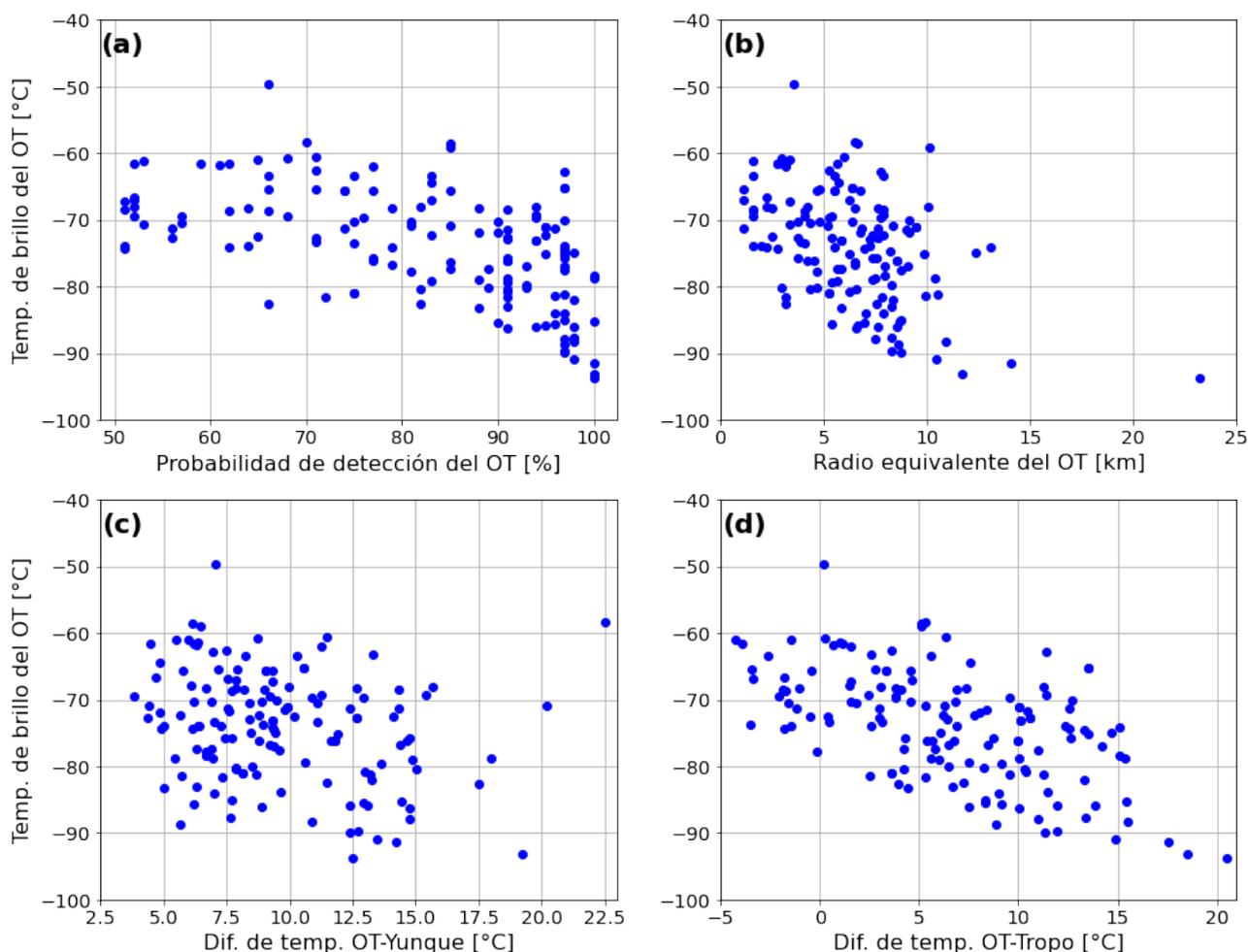


Figura 11: Diagramas de dispersión entre la temperatura de brillo del OT y (a) probabilidad de detección del OT, (b) radio equivalente del OT, (c) diferencia de temperatura entre el OT y el yunque circundante, y (d) diferencia de temperatura entre el OT y la tropopausa. Se consideran los OT que se encuentran a una distancia máxima de 25 km de al menos un reporte de tiempo severo.

5. EJEMPLOS PARTICULARES

El objetivo de esta sección es mostrar algunos ejemplos de casos particulares donde se cuente sobre el fenómeno ocurrido y diferentes parámetros del producto NASA-LaRC asociado a dicho reporte de tiempo severo.

5.1. Tormenta severa en el sudoeste de Chaco

Un sistema convectivo de mesoescala afectó durante la madrugada del día 14 de febrero de 2020 el sudoeste de la provincia del Chaco con fuertes lluvias que en poco más de 2 horas dejaron acumulados de entre 180 y 370 mm. La gran cantidad de agua caída produjo innumerables inconvenientes en la zona con anegamientos generalizados (Fig. 12), cortes de energía, telefonía y bloqueo de rutas y caminos provinciales.



Figura 12: Inundaciones en la ciudad de Charata, Chaco [Fuente: Diario Norte].

La zona afectada se encontraba bajo alerta, en particular de un Aviso Meteorológico a Muy Corto Plazo, emitido por el SMN como se puede ver en la Figura 13, donde se muestra el producto COLMAX del radar meteorológico RMA4 ubicado en la ciudad de Resistencia (Chaco). En ella se observa la presencia de una zona con ecos meteorológicos intensos (con valores superiores a 50 dBZ) y gran desarrollo vertical hacia el oeste de la imagen.

La Figura 14 muestra en el panel (a) la imagen de temperatura de topos nubosos del satélite GOES-16 para el día 14/2/2020 a las 04:30 HOA (07:30 UTC) centrada en Charata (Chaco), donde se registraron cerca de 180 mm en 2 horas. Los valores de temperaturas están por debajo de los -90°C siendo este OT detectado el de mayor diámetro equivalente de la muestra con un radio de 23.2 km. El campo de probabilidad de detección del OT (Fig. 14b) se muestra en el panel superior derecho con valores muy cercanos al 100 %.

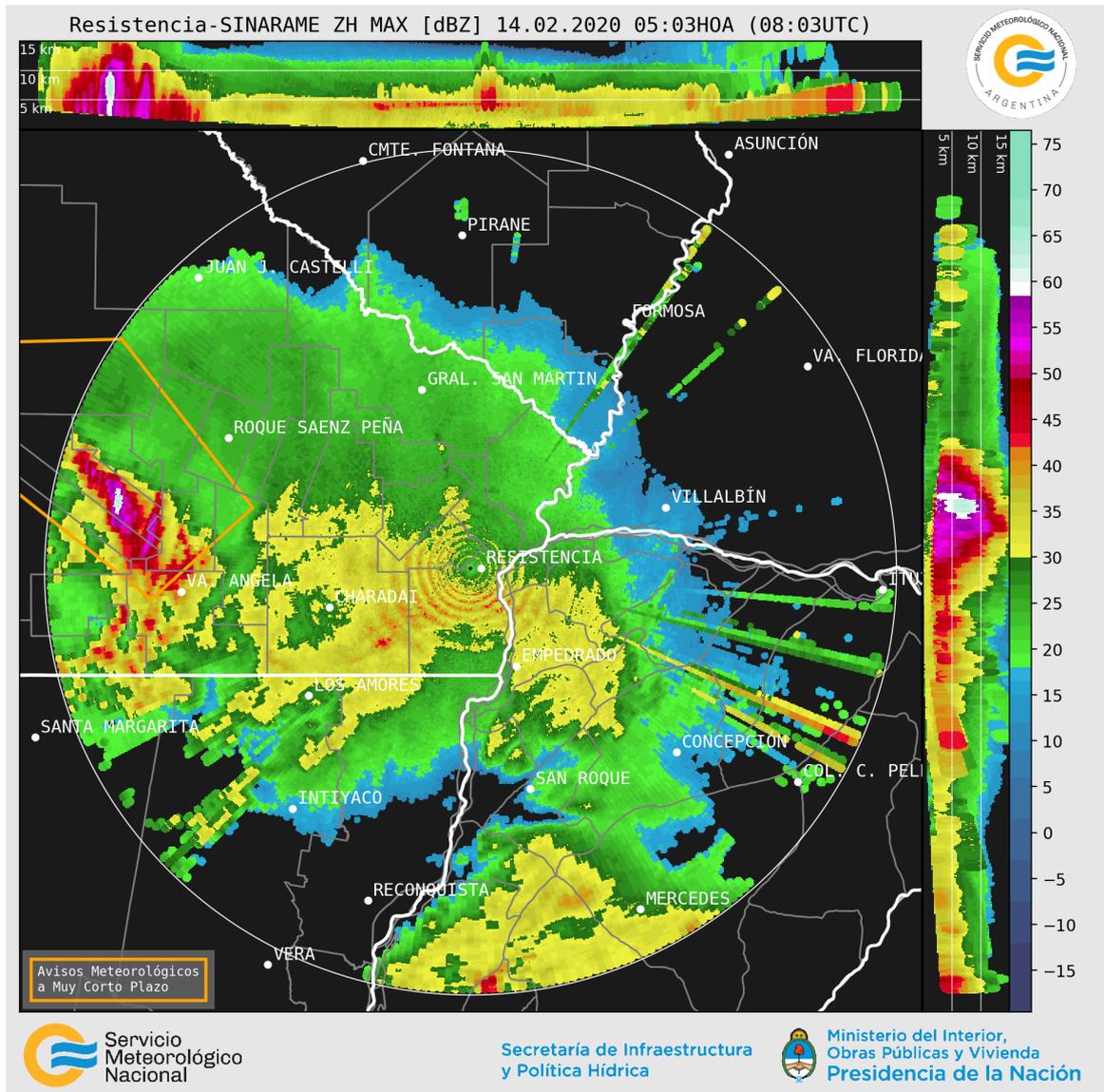


Figura 13: Producto COLMAX de reflectividad del radar RMA4 (Resistencia, Chaco) para el día 14/2/2020 a las 05:03 HOA. El polígono naranja corresponde con la zona bajo Aviso Meteorológico a Muy Corto Plazo emitido por el SMN.

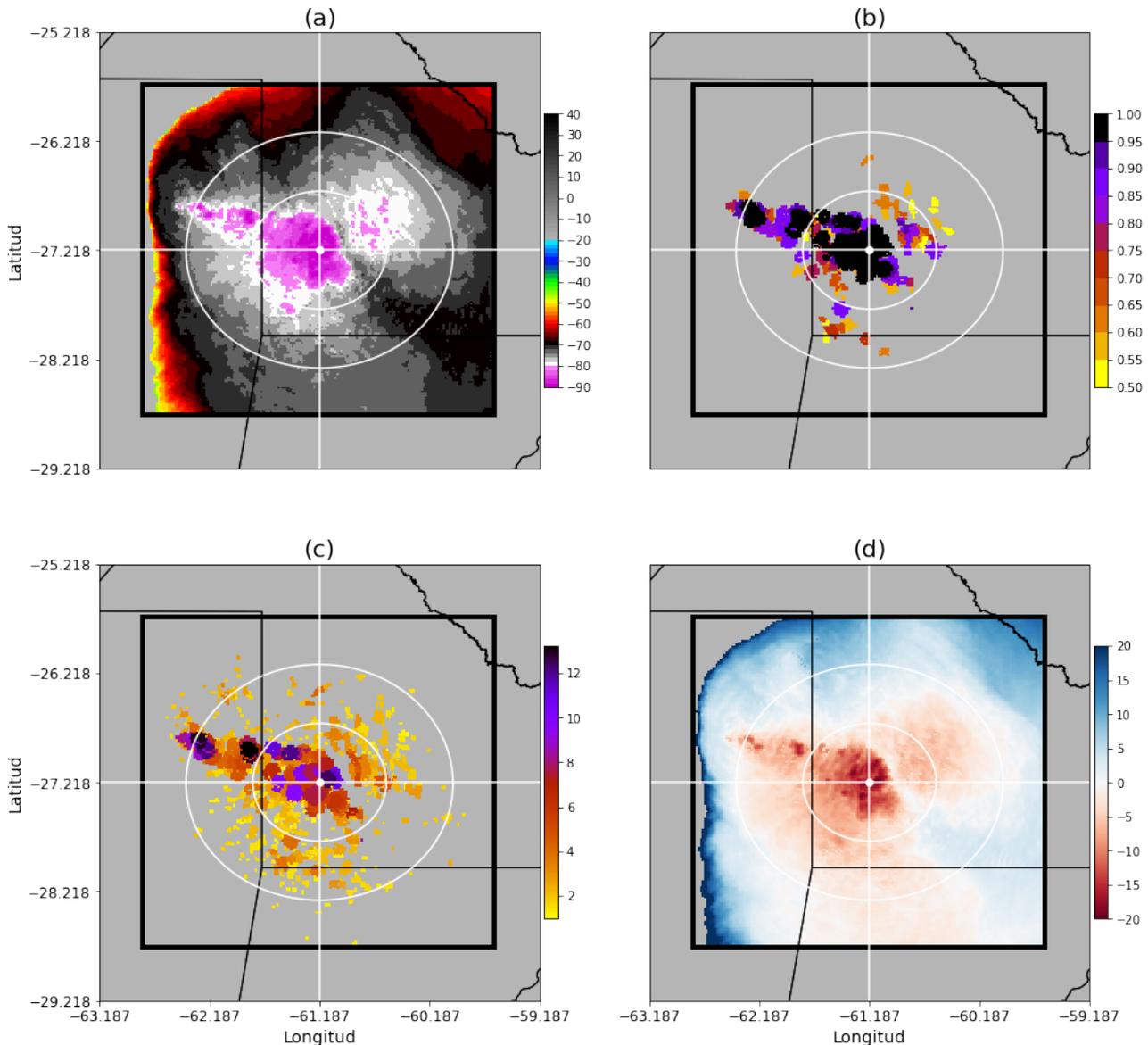


Figura 14: Salida del producto NASA LaRC Gridded Overshooting Cloud Top Detection para el día 14 de febrero de 2020. Los resultados corresponden a una ventana de integración de 1 hora entre las 04:00 y 05:00 HOA. (a) Temperatura de brillo mínima IR10.3; (b) Probabilidad máxima de detección del OT; (c) Índice de detección del yunque basado en el canal IR10.3; (d) Diferencia máxima media entre la temperatura del OT y la del yunque; abajo izq.: diferencia mínima de temperatura entre el OT y la tropopausa calculada con el análisis MERRA-5. La separación entre anillos es de 60 kilómetros y están centrados en el reporte de tiempo severo.

5.2. Tormenta severa en el sudeste de Mendoza

Durante las últimas horas del día 10 de noviembre de 2019 una fuerte tormenta severa con granizo de diámetro máximos de entre 2.5 y 5 cm (Fig. 15) afectó las localidades de Bowen y Carmensa en General Alvear, en el sudeste de la provincia de Mendoza. Los fuertes vientos que acompañaron el granizo generaron destrozos en la zona como caída de árboles y cortes del tendido eléctrico, así como la voladura de techos.

Para la hora de mayor intensidad de la tormenta, en la zona se registró actividad convectiva muy organizada con

ascendentes intensas bien definidas (Fig. 16b) cuyas temperaturas de topes asociadas oscilaron entre los -85 y -90°C (Fig. 16a)



Figura 15: Granizo severo en Carmensa, cerca de General Alvear, sobre el sudeste de Mendoza [Fuente: Diario Los Andes].

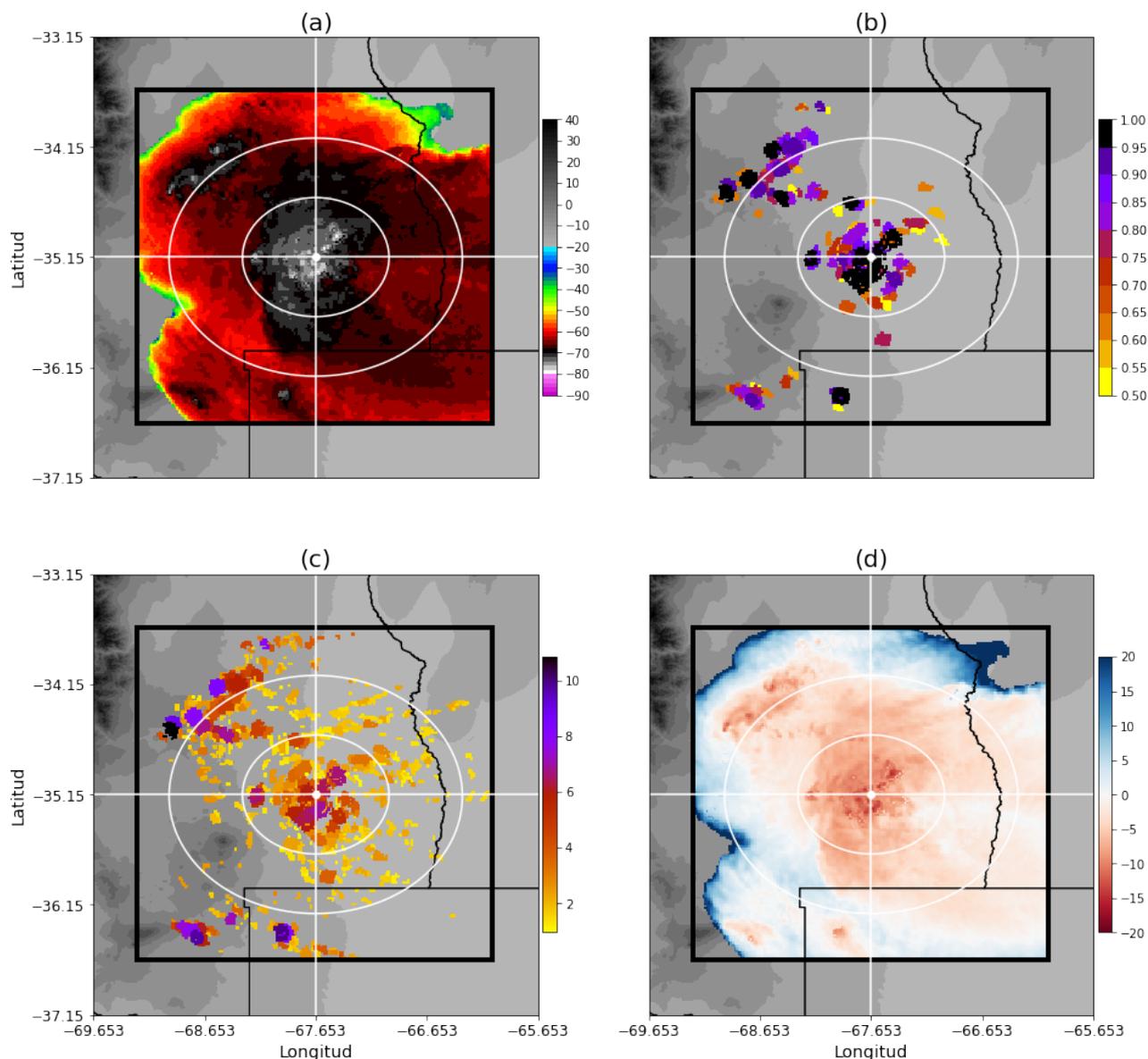


Figura 16: Ídem Figura 14 pero para el día 10 de noviembre de 2019. Los resultados corresponden a una ventana de integración de 1 hora entre las 21:00 y 22:00 HOA.

5.3. Tormenta severa en Santiago del Estero

El día 25 de noviembre de 2019, tras una jornada de intenso calor con una sensación térmica superando los 38 °C, cerca de las 17:00 HOA una tormenta severa acompañada de una torrencial lluvia, fuertes ráfagas de viento, que superaron los 100 km/h, y caída de granizo (Fig. 17) afectaron la ciudad de Santiago del Estero. Entre los impactos registrados, en cuestión de minutos, algunas calles de la Capital provincial comenzaron a inundarse por la gran cantidad de agua caída en poco tiempo.

El producto COLMAX del radar RMA11 ubicado en Termas de Río Hondo (Fig. 18) muestra un par de celdas de tormenta de gran intensidad, con reflectividades cercanas a los 60 dBZ alcanzando los 10 km de altura y topes sobrepasando los 15 kilómetros. Luego, el campo de temperatura de topes (Fig. 19a) refleja el gran desarrollo

vertical de estas tormentas con valores cercanos a los -90°C , asociados con la presencia de un OT bien definido (Fig. 19b).



Figura 17: Calles inundadas, voladura de techos y granizo de tamaño mediano registrados en la ciudad de Santiago del Estero el 25/11/2019 en horas de la tarde producto del pasaje de una tormenta severa [Fuente: Diario Panorama].

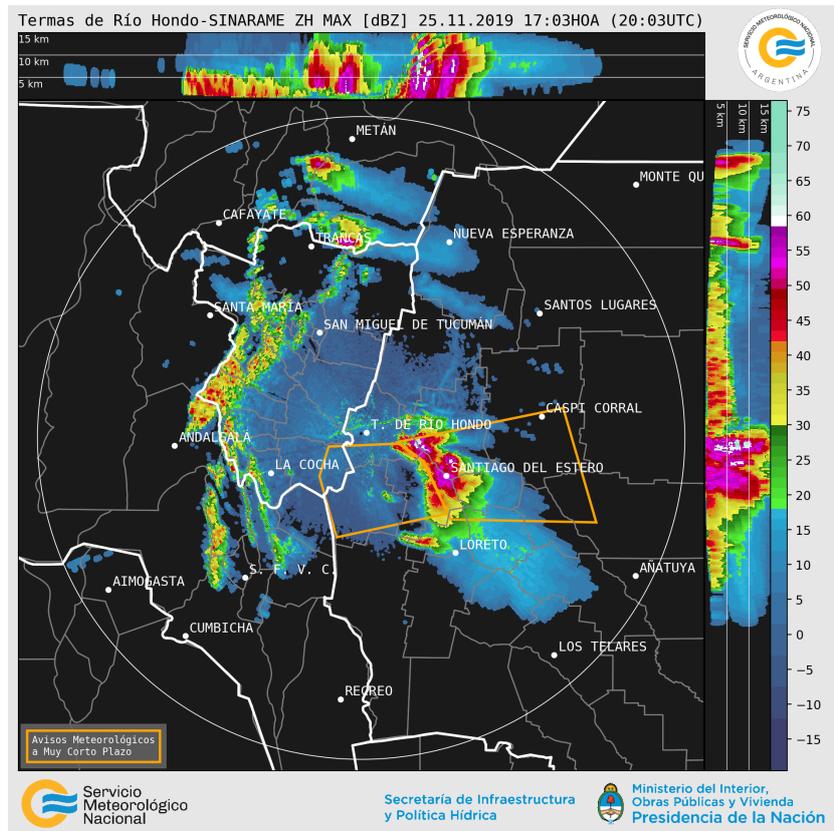


Figura 18: Producto COLMAX de reflectividad del radar RMA11 (Termas de Río Hondo, Santiago del Estero) para el día 25/11/2020 a las 17:03 HOA. El polígono naranja corresponde con la zona bajo Aviso Meteorológico a Muy Corto Plazo emitido por el SMN.

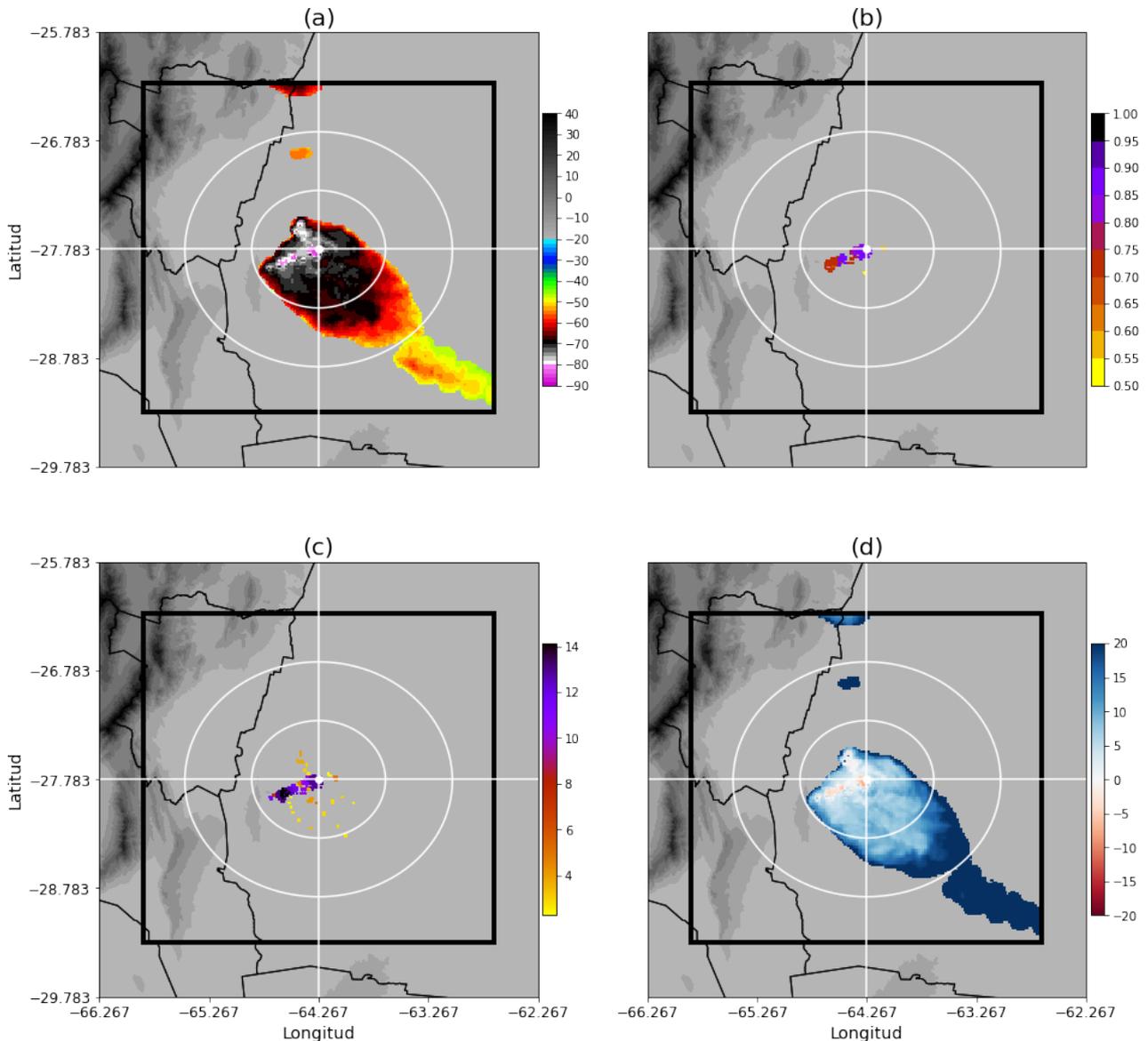


Figura 19: Ídem Figura 14 pero para el día 25 de noviembre de 2019. Los resultados corresponden a una ventana de integración de 1 hora entre las 16:00 y 17:00 HOA.

5.4. Granizo severo en Entre Ríos

Cerca de las 19:45 HOA del 29 de noviembre de 2019 una tormenta severa afectó la localidad entrerriana de Nogoyá. Con el pasaje de la misma, se registraron fuertes ráfagas de viento y abundante caída de agua en poco tiempo. Asimismo, hubo caída de granizo de importante tamaño y cantidad (Fig. 20).

En la imagen del radar INTA-Paraná (Fig. 21) de las 20:10 HOA se observa una celda aislada, muy probablemente de tipo supercelular con un importante desarrollo vertical llegando a la ciudad de Nogoyá. Esta gran desarrollo vertical concuerda con la presencia de una ascendente penetrativa intensa y persistente, al menos de 1 hora, como se puede observar en el producto integrado NASA-LaRC mostrado en la Figura 22. Notar la orientación SO-NE de la zona con temperaturas de tope mas frios (Fig. 22a) mostrando la trayectoria de esta zona de conveccion severa

persistente, además del asociado OT (Fig. 22b).



Figura 20: Granizo severo en Nogoyá, Entre Ríos [Fuente: Diario El Once].

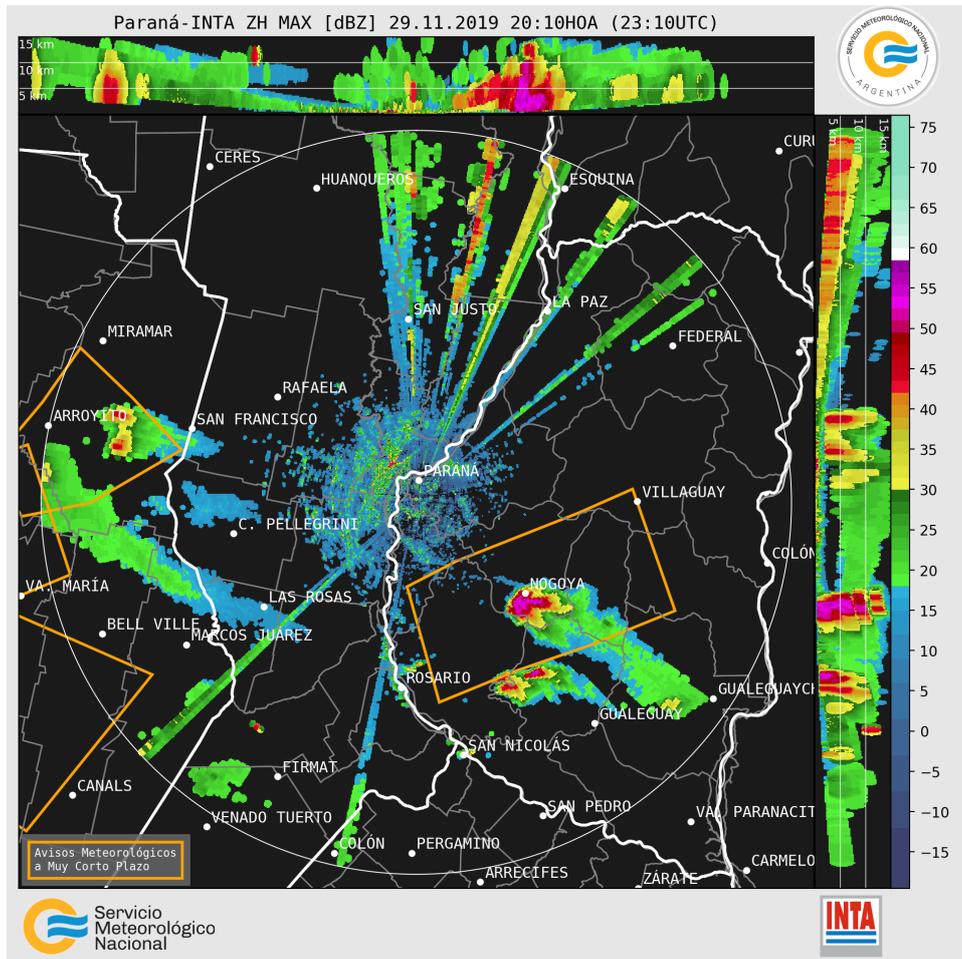


Figura 21: Producto COLMAX de reflectividad del radar INTA-Paraná (Oro Verde, Entre Ríos) para el día 29/11/2019 a las 20:10 HOA. El polígono naranja corresponde con la zona bajo Aviso Meteorológico a Muy Corto Plazo emitido por el SMN.

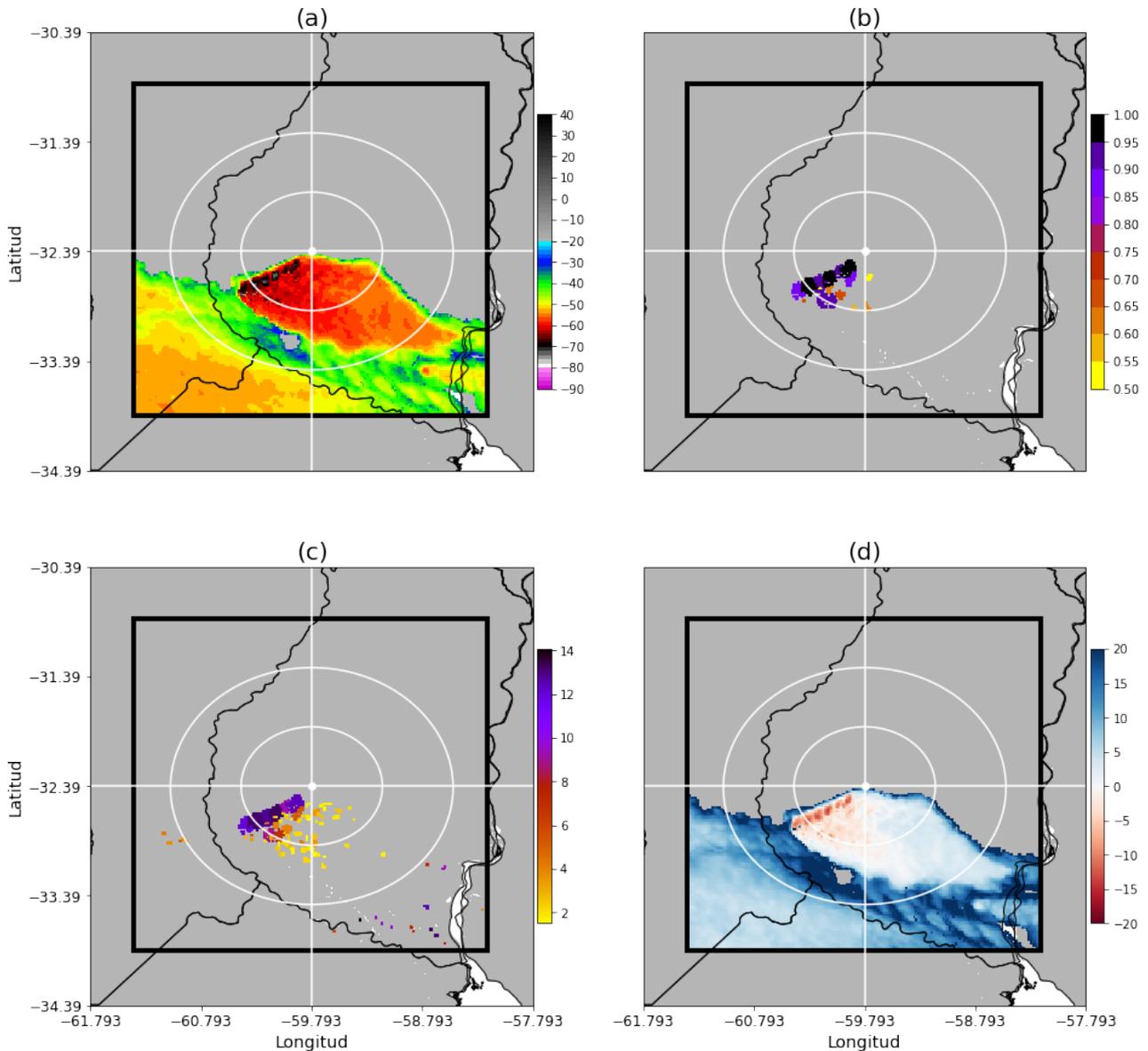


Figura 22: Ídem Figura 14 pero para el día 29 de noviembre de 2019. Los resultados corresponden a una ventana de integración de 1 hora entre las 19:00 y 20:00 HOA.

5.5. Granizo severo en Santa Fé

En horas de la tarde del día 16 de diciembre de 2019 una fuerte tormenta afectó la localidad santafesina de Pueblo Esther, muy cerca de Rosario, con la caída de granizo de gran tamaño como se puede ver en la Figura 23. El fenómeno fué de corta duración y no trajo inconvenientes serios a la zona.

El producto NASA-LaRC (Fig. 25) asociado a este fenómeno muestra la presencia de ascendentes intensas en la zona (Fig. 25b) aunque con temperaturas de topes no muy frías cercanas a los -70°C (Fig. 25a). A diferencia de los ejemplos anteriores, este caso pareciera estar respondiendo al desarrollo de varias celdas de tormenta de poco desplazamiento pero muy intensas, como se puede ver en la imágen del producto COLMAX del radar INTA-Pergamino (Fig. 24).



Figura 23: Granizo severo en Pueblo Esther (Santa Fé) y zonas aledañas [Fuente: Diario Conclusión].

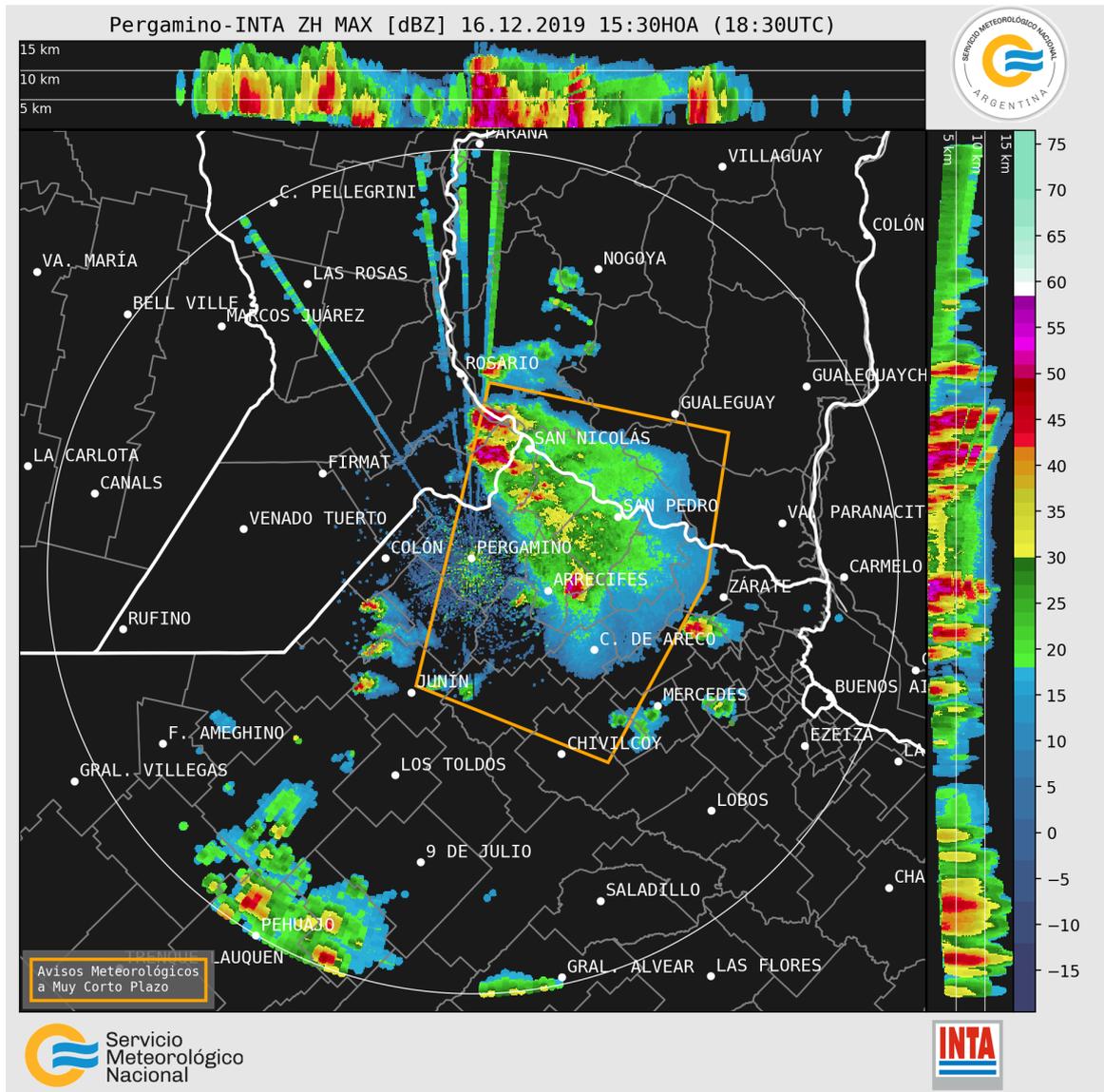


Figura 24: Producto COLMAX de reflectividad del radar INTA-Pergamino (Pergamino, Buenos Aires) para el día 16/12/2019 a las 15:30 HOA. El polígono naranja corresponde con la zona bajo Aviso Meteorológico a Muy Corto Plazo emitido por el SMN.

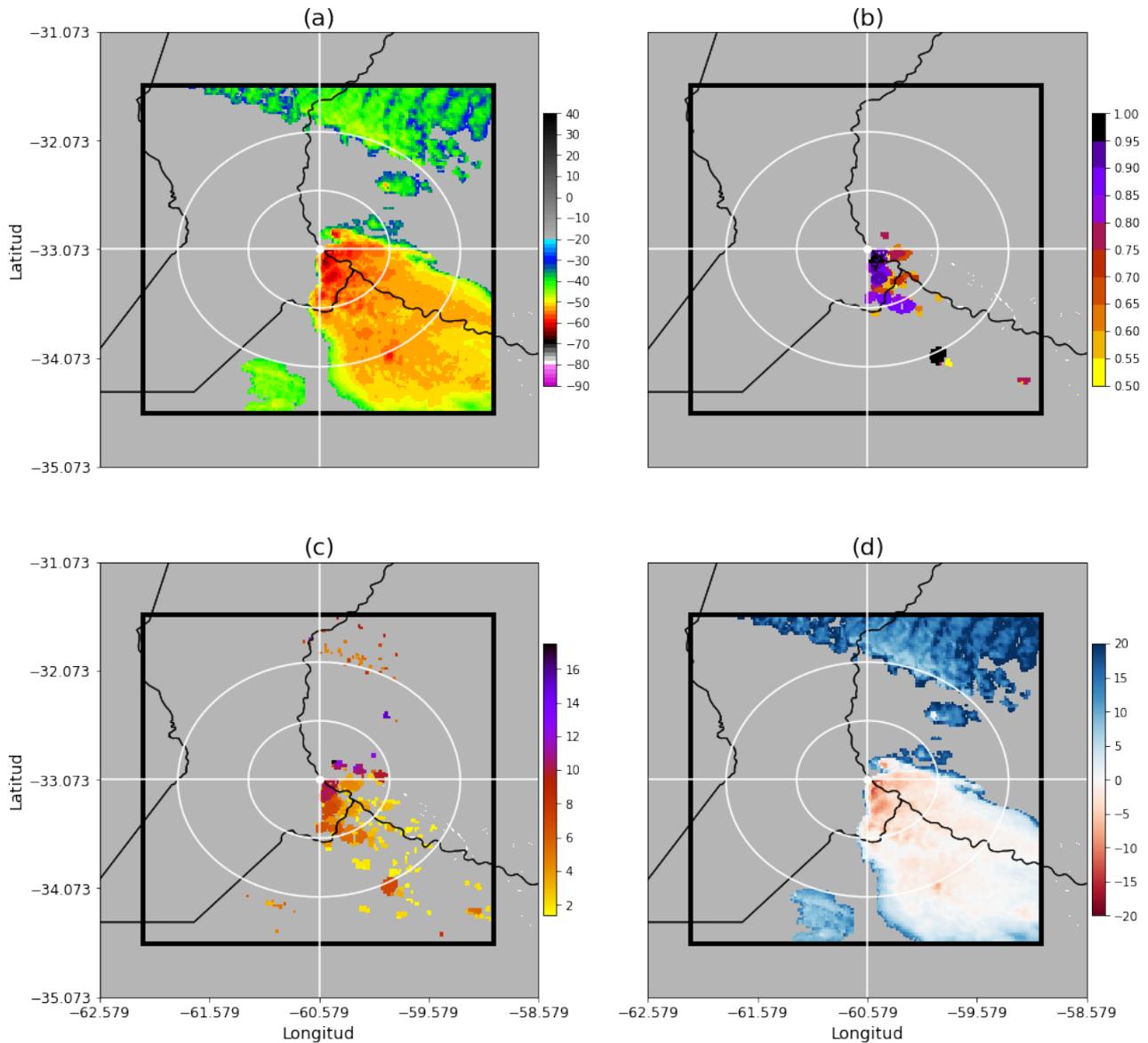


Figura 25: Ídem Figura 14 pero para el día 16 de diciembre de 2019. Los resultados corresponden a una ventana de integración de 1 hora entre las 15:00 y 16:00 HOA.

REFERENCIAS

- Anabor, V., D. J. Stensrud, y O. L. L. de Moraes, 2008: Serial upstream-propagating mesoscale convective system events over southeastern south america. *Monthly Weather Review*, **136 (8)**, 3087 – 3105, doi:10.1175/2007MWR2334.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/136/8/2007mwr2334.1.xml>.
- Bechis, H., P. Salio, y J. J. Ruiz, 2020: Drylines in argentina: Synoptic climatology and processes leading to their genesis. *Monthly Weather Review*, **148 (1)**, 111–129, doi:10.1175/MWR-D-19-0050.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/148/1/mwr-d-19-0050.1.xml>.

- Bedka, K., J. Brunner, R. Dworak, W. Feltz, J. Otkin, y T. Greenwald, 2010: Objective satellite-based detection of overshooting tops using infrared window channel brightness temperature gradients. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **49 (2)**, 181 – 202, doi:10.1175/2009JAMC2286.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/49/2/2009jamc2286.1.xml>.
- Bedka, K. M., 2011: Overshooting cloud top detections using msg seviri infrared brightness temperatures and their relationship to severe weather over europe. *Atmospheric Research*, **99 (2)**, 175–189, doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.10.001>, URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809510002589>.
- Bedka, K. M., y K. Khlopenkov, 2016: A probabilistic multispectral pattern recognition method for detection of overshooting cloud tops using passive satellite imager observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **55 (9)**, 1983 – 2005, doi:10.1175/JAMC-D-15-0249.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/55/9/jamc-d-15-0249.1.xml>.
- Berendes, T. A., J. R. Mecikalski, W. M. MacKenzie Jr., K. M. Bedka, y U. S. Nair, 2008: Convective cloud identification and classification in daytime satellite imagery using standard deviation limited adaptive clustering. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **113 (D20)**, doi:<https://doi.org/10.1029/2008JD010287>, URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2008JD010287>, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2008JD010287>.
- Bluestein, H. B., D. T. Lindsey, D. Bikos, D. W. Reif, y Z. B. Wienhoff, 2019: The relationship between overshooting tops in a tornadic supercell and its radar-observed evolution. *Monthly Weather Review*, **147 (11)**, 4151 – 4176, doi:10.1175/MWR-D-19-0159.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/147/11/mwr-d-19-0159.1.xml>.
- Borque, P., L. Vidal, M. Rugna, T. J. Lang, M. G. Nicora, y S. W. Nesbitt, 2020: Distinctive signals in 1-min observations of overshooting tops and lightning activity in a severe supercell thunderstorm. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **125 (20)**, e2020JD0328567, doi:10.1029/2020JD032856, URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2020JD032856>.
- Brunner, J. C., S. A. Ackerman, A. S. Bachmeier, y R. M. Rabin, 2007: A quantitative analysis of the enhanced-v feature in relation to severe weather. *Weather and Forecasting*, **22 (4)**, 853 – 872, doi:10.1175/WAF1022.1, URL https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/22/4/waf1022_1.xml.
- Cancelada, M., P. Salio, D. Vila, S. W. Nesbitt, y L. Vidal, 2020: Backward adaptive brightness temperature threshold technique (bab3t): A methodology to determine extreme convective initiation regions using satellite infrared imagery. *Remote Sensing*, **12 (2)**, 2072–4292, doi:10.3390/rs12020337, URL <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/2/337>.
- Dotzek, N., P. Groenemeijer, B. Feuerstein, y A. M. Holzer, 2009: Overview of essl's severe convective storms research using the european severe weather database eswd. *Atmospheric Research*, **93 (1)**, 575–586, doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.020>, URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809508003141>, 4th European Conference on Severe Storms.
- Durkee, J. D., y T. L. Mote, 2010: A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical south america. *International Journal of Climatology*, **30 (3)**, 418–431, doi:<https://doi.org/10.1002/joc.1893>, URL <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.1893>, <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/joc.1893>.

- Dworak, R., K. Bedka, J. Brunner, y W. Feltz, 2012: Comparison between goes-12 overshooting-top detections, wsr-88d radar reflectivity, and severe storm reports. *Weather and Forecasting*, **27 (3)**, 684 – 699, doi:10.1175/WAF-D-11-00070.1, URL https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/27/3/waf-d-11-00070_1.xml.
- Feng, Z., y coautores, 2021: A global high-resolution mesoscale convective system database using satellite-derived cloud tops, surface precipitation, and tracking. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **126 (8)**, e2020JD034202, doi:<https://doi.org/10.1029/2020JD034202>, URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2020JD034202>, e2020JD034202 2020JD034202, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2020JD034202>.
- Glickman, T., 2000: Glossary of meteorology.
- Goodman, S. J., y coautores, 2013: The goes-r geostationary lightning mapper (glm). *Atmospheric Research*, **125-126**, 34–49, doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.01.006>, URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809513000434>.
- Heysfield, G. M., R. Fulton, y J. D. Spinhirne, 1991: Aircraft overflight measurements of midwest severe storms: Implications an geosynchronous satellite interpretations. *Monthly Weather Review*, **119 (2)**, 436 – 456, doi:10.1175/1520-0493(1991)119<0436:AOMOMS>2.0.CO;2, URL https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/119/2/1520-0493_1991_119_0436_aomoms_2_0_co_2.xml.
- Khlopenkov, K. V., K. M. Bedka, J. W. Cooney, y K. Iterly, 2021: Recent advances in detection of overshooting cloud tops from longwave infrared satellite imagery. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **126 (14)**, e2020JD034359, doi:<https://doi.org/10.1029/2020JD034359>, URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2020JD034359>, e2020JD034359 2020JD034359, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2020JD034359>.
- Lindsey, D. T., y L. Grasso, 2008: An effective radius retrieval for thick ice clouds using goes. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **47 (4)**, 1222 – 1231, doi:10.1175/2007JAMC1612.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/47/4/2007jamc1612.1.xml>.
- Machado, L. A., W. F. Lima, O. Pinto, y C. A. Morales, 2009: Relationship between cloud-to-ground discharge and penetrative clouds: A multi-channel satellite application. *Atmospheric Research*, **93 (1)**, 304–309, doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.003>, URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809508002834>, 4th European Conference on Severe Storms.
- Mikuš Jurković, P., N. S. Mahović, y D. Počakal, 2015: Lightning, overshooting top and hail characteristics for strong convective storms in central europe. *Atmospheric Research*, **161-162**, 153–168, doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.03.020>, URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809515001155>.
- Mulholland, J. P., S. W. Nesbitt, R. J. Trapp, K. L. Rasmussen, y P. V. Salio, 2018: Convective storm life cycle and environments near the sierras de córdoba, argentina. *Monthly Weather Review*, **146 (8)**, 2541–2557, doi:10.1175/MWR-D-18-0081.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/146/8/mwr-d-18-0081.1.xml>.
- Negri, A. J., y R. F. Adler, 1981: Relation of satellite-based thunderstorm intensity to radar-estimated rainfall. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **20 (3)**, 288 – 300, doi:10.1175/1520-0450(1981)020<0288:ROSBTI>2.0.CO;2, URL https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/20/3/1520-0450_1981_020_0288_rosbti_2_0_co_2.xml.

- Nesbitt, S. W., y coautores, 2021: A storm safari in subtropical south america: proyecto relampago. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **1** – 64, doi:10.1175/BAMS-D-20-0029.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/aop/BAMS-D-20-0029.1/BAMS-D-20-0029.1.xml>.
- Rasmussen, K. L., M. M. Chaplin, M. D. Zuluaga, y R. A. Houze, 2016: Contribution of extreme convective storms to rainfall in south america. *Journal of Hydrometeorology*, **17** (1), 353–367, doi:10.1175/JHM-D-15-0067.1, URL https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/17/1/jhm-d-15-0067_1.xml.
- Rasmussen, K. L., y R. A. Houze, 2016: Convective initiation near the andes in subtropical south america. *Monthly Weather Review*, **144** (6), 2351–2374, doi:10.1175/MWR-D-15-0058.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/144/6/mwr-d-15-0058.1.xml>.
- Rasmussen, K. L., M. D. Zuluaga, y R. A. Houze Jr., 2014: Severe convection and lightning in subtropical south america. *Geophysical Research Letters*, **41** (20), 7359–7366, doi:<https://doi.org/10.1002/2014GL061767>, URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2014GL061767>, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/2014GL061767>.
- Rienecker, M. M., y coautores, 2011: Merra: Nasa?s modern-era retrospective analysis for research and applications. *Journal of Climate*, **24** (14), 3624 – 3648, doi:10.1175/JCLI-D-11-00015.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/24/14/jcli-d-11-00015.1.xml>.
- Salio, P., M. Nicolini, y E. J. Zipser, 2007: Mesoscale convective systems over southeastern south america and their relationship with the south american low-level jet. *Monthly Weather Review*, **135** (4), 1290 – 1309, doi:10.1175/MWR3305.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/135/4/mwr3305.1.xml>.
- Schmit, T. J., P. Griffith, M. M. Gunshor, J. M. Daniels, S. J. Goodman, y W. J. Lebar, 2017: A closer look at the abi on the goes-r series. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **98** (4), 681 – 698, doi:10.1175/BAMS-D-15-00230.1, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/98/4/bams-d-15-00230.1.xml>.
- Setvák, M., R. M. Rabin, y P. K. Wang, 2007: Contribution of the modis instrument to observations of deep convective storms and stratospheric moisture detection in goes and msg imagery. *Atmospheric Research*, **83** (2), 505–518, doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.09.015>, URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809506001402>, european Conference on Severe Storms 2004.
- Setvák, M., y coautores, 2010: Satellite-observed cold-ring-shaped features atop deep convective clouds. *Atmospheric Research*, **97** (1), 80–96, doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.03.009>, URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016980951000058X>.
- Vidal, L., 2014: Convección extrema sobre sudamérica: estructura interna, ciclos de vida e influencia de la topografía en la iniciación. *Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales*, URL http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n5573_Vidal.
- Zipser, E. J., D. J. Cecil, C. Liu, S. W. Nesbitt, y D. P. Yorty, 2006: Where are the most intense thunderstorms on earth? *Bulletin of the American Meteorological Society*, **87** (8), 1057 – 1072, doi:10.1175/BAMS-87-8-1057, URL <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/87/8/bams-87-8-1057.xml>.
- Šťástka, J., y M. Setvák, 2008: Cloud top temperature and height product of the nowcasting saf applied to tropopause-penetrating cold-ring shaped storms. *The 2008 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference*.

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 (rde-lia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martín 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).