

Climatología de ecos no meteorológicos de la red de radares SINARAME

Nota Técnica SMN 2021-103

Diego Giménez^{1,2}, Luciano Vidal¹, Martín Rugna¹, Ramón de Elía¹ y Leandro Giordano²

¹ *Dirección de Productos de Modelación Ambiental y de Sensores Remotos, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios*

² *Instituto Nacional del Agua*

Septiembre 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

La presencia de ecos no meteorológicos como interferencias electromagnéticas, tienen un impacto significativo en las diferentes aplicaciones de los datos generados por los radares meteorológicos, como es el caso de las estimaciones cuantitativas de precipitación. Las climatologías de reflectividad, si bien se han utilizado para estudiar la distribución espacial de la precipitación en diferentes regiones geográficas, también han sido empleadas para la elaboración de mapas de frecuencia de ecos no meteorológicos persistentes, como ser ecos de tierra e interferencias electromagnéticas. Esta Nota Técnica presenta el primer análisis climatológico de ecos no meteorológicos realizado en Argentina usando la nueva red de radares RMA que conforman el SINARAME (Sistema Nacional de Radares Meteorológicos). Se describe la metodología desarrollada e implementada en el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina para determinar los mapas de ecos de tierra e interferencias electromagnéticas a nivel nacional para 11 radares RMA con el objetivo de realizar una caracterización de los sitios en el marco del uso de los datos tanto para la estimación cuantitativa de precipitación como para la vigilancia meteorológica operativa. El esquema propuesto contempla las siguientes etapas: (1) análisis climatológico basado en reflectividad de radar a partir de volúmenes sin presencia de ecos meteorológicos para la elevación de antena más baja; (2) identificación de áreas afectadas por ecos de tierra e interferencia electromagnética; (3) separación de ecos de tierra de ecos de interferencia electromagnética; (4) generación de mapas de ecos no meteorológicos. El período analizado va desde el 1 de abril de 2019 al 31 de diciembre de 2020. Los resultados muestran una sólida caracterización de los sitios de radar en términos estadísticos respecto a la persistencia de los ecos no meteorológicos y su impacto en la reflectividad de radar, contemplando además en el análisis la topografía, obstáculos naturales y/o artificiales, e incluso efectos de propagación anómala, entre otros.

Abstract

Quantitative Precipitation Estimation (QPE) is rather sensitive to non-meteorological echoes such as ground clutter or electromagnetic interference. To this end, reflectivity climatologies have been used, among other cases, for creating maps of frequency of persistent non-meteorological echoes. This Technical Note presents the first climatology (data ranging from April 2019 to December 2020) of this kind using data from 11 RMA radars within the National System of Weather Radars (SINARAME). The methodology applied in this work identifies all types of clutter and then classifies them into two categories: ground clutter and electromagnetic interference. Results show that it is possible to characterize the region around the radar site using these categories and combining them with the analysis of topography, artificial blockage and anomalous propagation.

Palabras clave: radar meteorológico, ecos no meteorológicos, climatología

Citar como:

Giménez, D., L. Vidal, M. Rugna, R. de Elfa y L. Giordano, 2021: Climatología de ecos no meteorológicos para la red de radares SINARAME. Nota Técnica SMN 2021-103.

Prólogo

Esta Nota Técnica forma parte de una serie que recopila informes realizados en el marco del proyecto “Estimación de precipitación de mejor calidad a partir de la combinación de datos de satélite, radar y estaciones meteorológicas” en el marco del Programa 8.1.1 “Programa de explotación de los datos de sensores remotos” (año 2020) del Plan Estratégico del SMN 2020-2023. El objetivo final del proyecto es desarrollar e implementar un algoritmo que combine de forma óptima estimaciones de precipitación basadas en sensores remotos (satélite y radar meteorológicos) y observaciones in situ (pluviómetros) para lograr una estimación cuantitativa de precipitación que permita mejorar de manera significativa el monitoreo de la precipitación y otras aplicaciones desarrolladas dentro del Servicio Meteorológico Nacional. Con esta serie de Notas Técnicas se busca documentar el proceso de desarrollo de cada componente del proyecto: 1) observaciones pluviométricas, su integración a través de redes propias y de terceros y el desarrollo de metodologías de evaluación de confiabilidad de esta información y control de calidad en tiempo real, 2) desarrollo de una estimación de precipitación en base a radar meteorológicos, metodologías de control de calidad en tiempo diferido y generación de productos, y 3) desarrollo e implementación de una primera versión de una estimación satelital de precipitación corregida con pluviómetros, cálculo y análisis de distancias de correlación, metodologías de corrección de errores sistemáticos (climatología) y diarios, y validación.

1. INTRODUCCIÓN

Los bloqueos parciales o totales de la señal del radar asociados principalmente a obstáculos naturales que rodean al sitio radar (ej., montañas, árboles, ecos de tierra) o artificiales (ej., edificios, torres, antenas) así como la presencia de ecos no meteorológicos como interferencias electromagnéticas, tienen un impacto significativo en las diferentes aplicaciones de los datos generados por los radares meteorológicos, como es el caso de las estimaciones cuantitativas de precipitación. Las climatologías de reflectividad se han utilizado para estudiar la distribución espacial de la precipitación en diferentes regiones geográficas (por ejemplo, Kuo y Orville 1973; Steenburgh y otros, 2000; Heinselman y Schultz 2006). Pero este método también se ha utilizado para la elaboración de mapas de ecos no meteorológicos persistentes, como ser ecos de tierra e interferencias electromagnéticas.

El objetivo de la presente Nota Técnica es determinar los mapas de ecos de tierra e interferencias electromagnéticas a nivel nacional, para los 11 radares que componen la red SINARAME (Sistema Nacional de Radares Meteorológicos; de Elia y otros 2017, Rodriguez y otros 2017) con el fin de ayudar a la caracterización de los sitios en el marco del uso de los datos tanto para la estimación cuantitativa de precipitación como para la vigilancia meteorológica operativa.

2. DATOS

El componente principal del SINARAME son los radares RMA (Radar Meteorológico Argentino). Se trata de 11 radares Doppler banda C de doble polarización fabricados por la empresa INVAP S.E. y pertenecientes a la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica¹, cuyos datos serán utilizados en esta Nota Técnica. En la Tabla 1 se muestra la lista de los radares que serán objeto de estudio junto con su localización y altura media sobre el nivel del mar. Para la elaboración de los mapas climatológicos de ecos no meteorológicos se emplearon los volúmenes de reflectividad (variable *DBZH*) y coeficiente de correlación co-polar (variable *RHOHV*) con un alcance máximo de 240 km, disponibles en el banco de datos del Servicio Meteorológico Nacional, para el periodo comprendido entre el 1 de abril de 2019 y el 31 de diciembre de 2020.

3. METODOLOGÍA

3.1 Mapa de frecuencia de ocurrencia de reflectividad

El análisis climatológico basado en reflectividad de radar es definido como la frecuencia de ocurrencia (en adelante *FoR*, por sus siglas en inglés) de píxeles con un valor de reflectividad que excede determinado umbral (Z_{thr}). La climatología se calcula pixel a pixel sobre un volumen en coordenadas esféricas siguiendo la metodología propuesta por Krajewski y Vignal (2001) y Chang y otros (2009) de acuerdo a la siguiente ecuación:

¹ Al momento de la publicación de la presente Nota Técnica. Ver información actualizada en <https://mapadelestado.jefatura.gob.ar/> y en <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/infraestructura-y-politica-hidrica>

$$FoR_{Z_{thr}}(i, j, k) = \frac{n}{N}$$

donde n es el número de volúmenes con reflectividad mayor al umbral definido Z_{thr} y N es el número total de volúmenes disponibles. Los índices i , j , y k hacen referencia al número ordinal de un píxel cualquiera del radar en elevación, azimuth y rango respectivamente. Los valores de FoR varían de 0 a 1, donde 1 representa ecos que se detectan todo el tiempo (por ejemplo, ecos asociados a edificaciones o montañas) y 0 indica que nunca se detecta ningún eco superior al umbral (por ejemplo, detrás de un objeto que bloquea completamente el haz del radar). En la presente Nota Técnica se mostrarán y discutirán los mapas FoR generados a partir de volúmenes válidos de radar (ver Sección 3.2) sin presencia de ecos meteorológicos para la elevación de antena más baja ($0,5^\circ$) y un umbral de reflectividad de 0 dBZ. Estos campos nos permitirán caracterizar para cada radar la presencia de ecos de tierra e interferencias electromagnéticas persistentes.

Tabla 1 Listado de nombres, acrónimos y ubicaciones de los once radares que conforman el SINARAME
(Fuente: WMO Radar Database²)

Radar	Ubicación (ciudad/provincia)	Latitud (°)	Longitud (°)	Altura (m.s.n.m.)
RMA1	Ciudad de Córdoba (Córdoba)	-31,4413	-64,1919	441
RMA2	Ezeiza (Buenos Aires)	-34,8009	-58,5154	12
RMA3	Las Lomitas (Formosa)	-24,7303	-60,5516	162
RMA4	Resistencia (Chaco)	-27,4517	-59,0511	84
RMA5	Bernardo de Irigoyen (Misiones)	-26,2781	-53,6708	806
RMA6	Mar del Plata (Buenos Aires)	-37,9131	-57,5278	45
RMA7	Ciudad de Neuquén (Neuquén)	-38,8766	-68,1448	352
RMA8	Mercedes (Corrientes)	-29,1958	-58,0447	95
RMA9	Río Grande (Tierra del Fuego)	-53,7850	-67,7600	18
RMA10	Bahía Blanca (Buenos Aires)	-38,7342	-62,1654	68
RMA11	Termas de Río Hondo (Santiago del Estero)	-27,5025	-64,9058	292

3.2 Clasificación de volúmenes de radar

De acuerdo a lo mencionado en la sección anterior, el cálculo FoR se aplica pixel a pixel sobre los volúmenes de radares RMA disponibles en la base de datos del SMN. Ello implica que todos los volúmenes involucrados en el cómputo de FoR, para un mismo radar, deben contener la variable reflectividad con idéntica distribución espacial de los datos, razón por la cual previo a este cálculo se debió analizar la validez de cada volumen. Para ello se definió que todo volumen de radar es válido si cumple los siguientes

² <https:// wrd.mgm.gov.tr>

requisitos: (i) contiene la variable reflectividad 'DBZH', (ii) la estrategia de escaneo es idéntica o equivalente, y (iii) el rango máximo y la resolución radial son idénticos. Una vez que se tuvieron los volúmenes válidos se procedió a identificar dentro de este conjunto aquellos volúmenes sin presencia de eco meteorológico. Para abordar esta clasificación, se consideró como área de eco meteorológico a toda región continua de píxeles contiguos que presentan valores altos de correlación co-polar ρ_{HV} (Paulitsch y otros 2009) y baja variabilidad espacial de ρ_{HV} ($T\rho_{HV}$) (Bringi y Chandrasekar, 2001). Aquí, la variabilidad espacial es determinada de acuerdo al error cuadrático medio o textura, siguiendo la metodología de Gourley y otros (2007). En la Figura 1 se muestran los campos del coeficiente de correlación co-polar ρ_{HV} y su textura $T\rho_{HV}$ para una elevación de $0,5^\circ$ del radar RMA2 (Ezeiza, Buenos Aires) para un día en el que se observa un área de ecos meteorológicos hacia el sudoeste. A partir de estos campos se construye una máscara binaria que llamaremos $M_{EcoMeteo}$ donde se asignará el valor "1" a todo pixel que presente valores de $\rho_{HV} > 0,9$ y $T\rho_{HV} < 0,075$. Estos umbrales fueron elegidos a partir de valores propuestos en la bibliografía. Los píxeles que no cumplen con esta condición o no presentan datos, se le asigna el valor "0". En la Figura 1c se muestra la máscara resultante, mientras que en la Figura 1d se puede ver el correspondiente campo de reflectividad.

Finalmente, se clasificará a un volumen válido de radar sin ecos meteorológicos si la relación entre la cantidad de píxeles con valor "1" en la máscara $M_{EcoMeteo}$ respecto del total de píxeles del barrido es menor que 0.1%. Este umbral se definió a los efectos de maximizar los volúmenes sin lluvia respecto al registro de volúmenes válidos sin verse afectado por sistemas de precipitación ingresando al rango del radar o, en menor medida, por sistemas convectivos en desarrollo. Un umbral ligeramente próximo a 0% reduce los volúmenes sin lluvia debido a la posible existencia de ecos espurios como consecuencia del método de clasificación, mientras que un umbral superior a 0.1% podría dar lugar a considerar volúmenes con lluvia en el análisis (ver Fig. 2). En la Tabla 2 se detalla la cantidad de volúmenes válidos disponibles para cada radar.

Tabla 2 Volúmenes válidos disponibles para cada radar, tanto para el cálculo de los mapas de frecuencia (Volúmenes válidos) como para el cálculo del mapa de clutter estático (Volúmenes sin lluvia). ⁽¹⁾ Se estima el porcentaje de volúmenes sin lluvia sobre el total de volúmenes válidos.

Radar	Volúmenes disponibles	Volúmenes válidos	Volúmenes válidos (%)	Volúmenes sin lluvia	⁽¹⁾ Volúmenes sin lluvia (%)
RMA1	94 577	90 622	95,8	72 923	80,5
RMA2	88 030	79 146	89,9	60 909	77,0
RMA3	83 025	78 575	96,6	61 947	78,8
RMA4	74 518	70 372	94,4	55 635	79,1
RMA5	80 148	77 877	97,2	54 613	70,1
RMA6	83 890	77 022	91,8	51 888	67,4
RMA7	70 188	66 290	94,4	48 199	72,7
RMA8	57 418	53 282	92,8	41608	78,1
RMA9	85 595	80 287	93,8	36 343	45,3
RMA10	50 254	48 509	93,6	35 147	72,4
RMA11	78 351	73 339	93,6	53 985	73,6

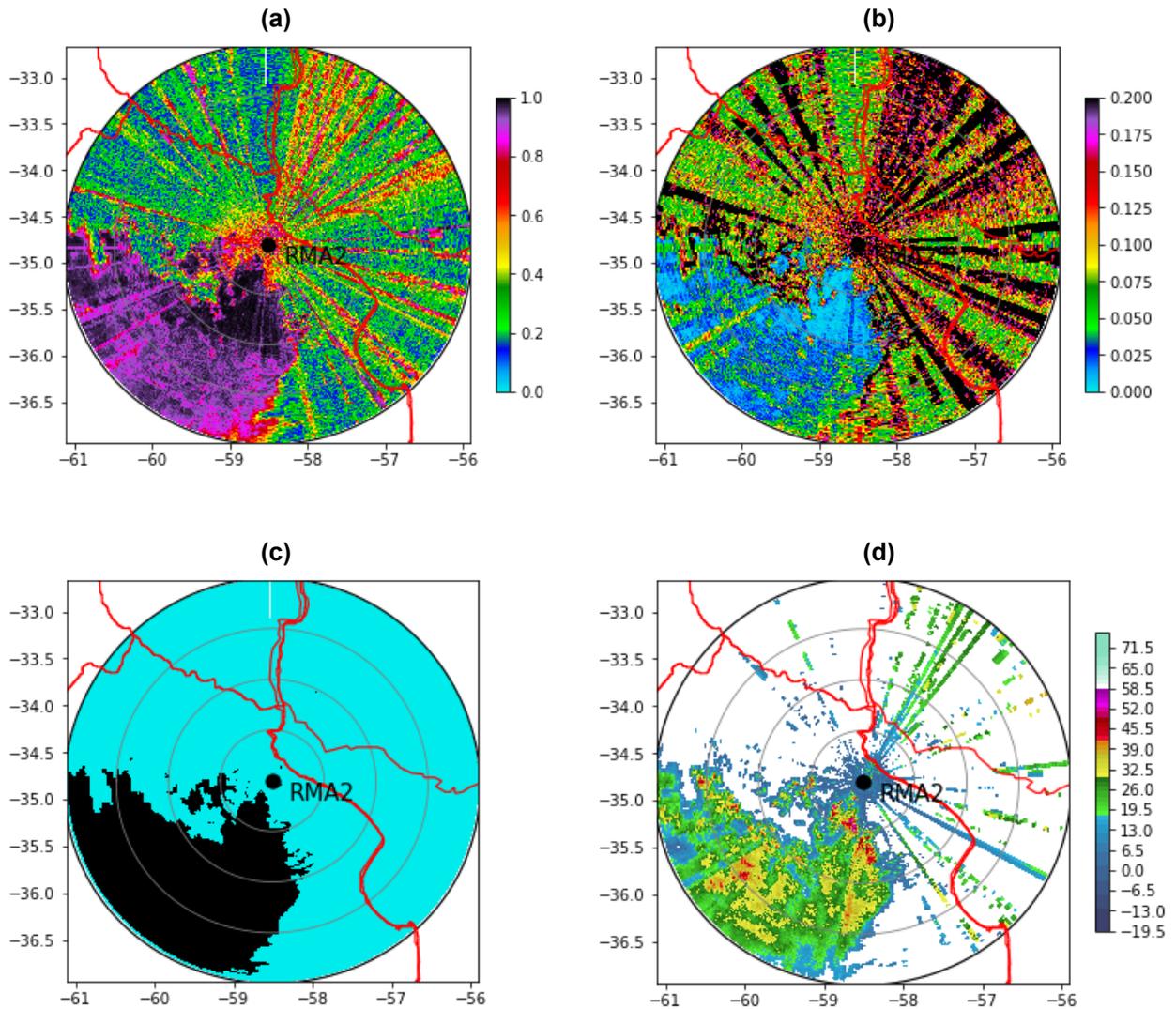


Fig. 1 (a) Coeficiente de correlación copolar ρ_{HV} , (b) Textura de la correlación copolar $T_{\rho_{HV}}$, (c) Máscara de ecos meteorológicos $M_{EcoMeteo}$. El color negro indica la región con presencia de ecos meteorológicos. (d) Campo de reflectividad. En este ejemplo, el porcentaje de píxeles con ecos meteorológicos es de 19,7%. Todos los campos corresponden a la elevación más baja ($0,5^\circ$) del radar RMA2.

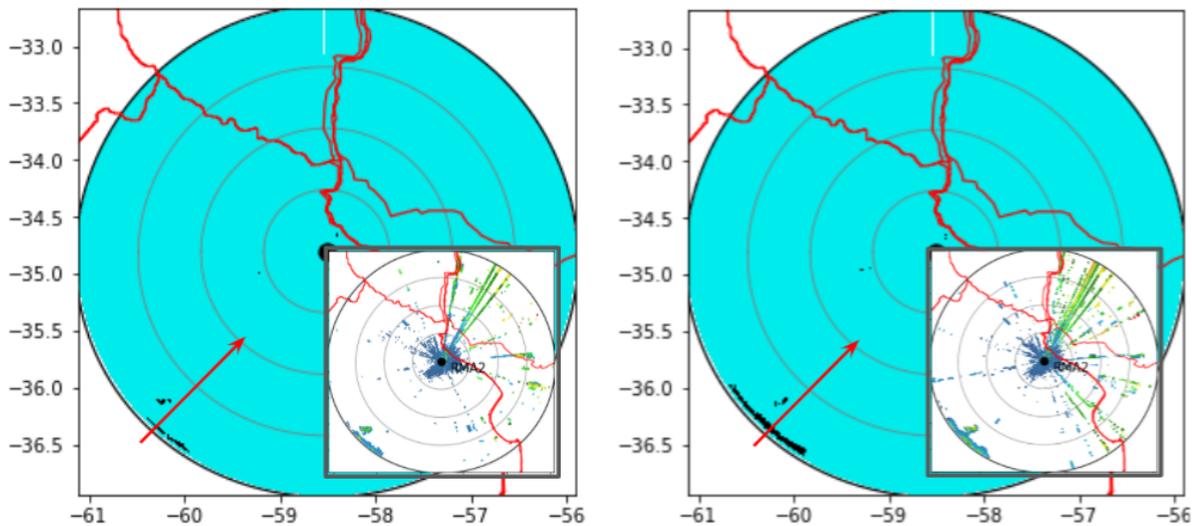


Fig. 2 Cobertura de lluvia observada ($M_{EcoMeteo}$) en los dos primeros registros consecutivos de un sistema de precipitación (elevación $0,5^\circ$) ingresando dentro del rango del radar RMA2-Ezeiza desde el SE el 11/03/2021 a las 03:30 UTC. Izq.: primera aparición del sistema de precipitación con una cobertura de 0,12%. Der.: avance del sistema hacia el centro del radar (03:40 UTC) con una cobertura de 0,19%.

3.3 Mapa estático de ecos no meteorológicos

A partir de la serie de volúmenes de radar sin ecos meteorológicos se estima el campo de reflectividad media y el campo de frecuencia de ocurrencia de reflectividad (FoR) para un umbral de 0 dBZ para cada radar meteorológico (ejemplificados en la Figura 3a y 3b para el RMA1). Se define a continuación que todo pixel con reflectividad media mayor que 2 dBZ y FoR superior al 10% corresponde a eco de tierra (en adelante GC) y/o interferencia electromagnética (en adelante RL). Los umbrales definidos anteriormente se establecieron *ad-hoc* teniendo en cuenta la relación de compromiso entre la delimitación de ecos GC y RL (reducción de superposición que nos permita luego la separación entre ambas categorías) y la maximización de situaciones aisladas (baja frecuencia de ocurrencia), como ser posibles ecos RL de baja frecuencia y alta intensidad e incluso ecos GC debido a propagación anómala del haz (ver *Apéndice A: sensibilidad del campo resultante a los umbrales*).

En primera instancia, a los efectos de separar los ecos GC y RL, se ensayó una metodología basada en el ancho espectral de la señal de radar para identificar los haces afectadas por RL y poder así separarlos de los ecos de tierra. La principal limitación de esta técnica radica en la necesidad de combinar dos volúmenes distintos dentro de la misma estrategia de escaneo (diferentes rangos y resolución en rango, entre otros aspectos). Ello implicó que los haces identificados como RL en un volumen dado, a partir del ancho espectral, debían ser extrapolados dentro del correspondiente volumen de estudio. Por otro lado, esta técnica no fue capaz de delimitar adecuadamente los ecos GC y RL en las proximidades del radar.

Luego, se abordó la metodología propuesta por Chang y otros (2009) quienes emplean la textura del campo FoR (TFoR). La misma se calcula como la media del cuadrado de la diferencia entre ecos adyacentes a lo largo de un haz de radar de acuerdo con:

$$TFoR = \frac{\sum_{i=1}^{N_{az}} \sum_{j=1}^{N_{bins}} (FoR_{i,j} - FoR_{i,j-1})^2}{N}$$

donde i y j son los índices en el rango del radar en dirección azimutal y radial, respectivamente, y N el número de puntos calculados. Por defecto el bloque de cálculo computacional es de 5 píxeles en la dirección radial por 5 píxeles en la dirección azimutal ($N=25$). Todo pixel con TFoR mayor que 1% son considerados como píxeles asociados a GC. Los restantes píxeles de la máscara de ecos no necesariamente son ecos RL, por ello se realiza un postprocesamiento donde los ecos que presentan una continuidad radial superior a 60 km son considerados RL, eliminando todo eco relacionado a propagación anómala e incluso ecos marítimos presentes en el sitio de radar (ver radar RMA6-Mar del Plata). En las Figuras 3c y 3d se muestran la máscara de ecos con reflectividad media mayor a 2 dBZ y frecuencia de ocurrencia de reflectividad FoR > 10%, y la textura del campo FoR, respectivamente.

En el Apéndice B se pueden visualizar, a modo de resumen, los mapas de clutter estático que representa los ecos de tierra e interferencias, estimados a partir de la metodología antes descrita, para cada sitio de radar de la red de SINARAME.

4. RESULTADOS

Se presenta a continuación una serie de mapas, generados mediante la metodología antes descrita, con el objeto de caracterizar la presencia de ecos de tierra e interferencias electromagnéticas por cada sitio de radar de la red de SINARAME.

4.1 Radar RMA1

En este radar se destacan los patrones radiales presentes en la mitad izquierda del disco mostrado (Fig. 3a) asociados a las interferencias con un valor de reflectividad media de 3,8 dBZ y valores máximos de hasta 26 dBZ. En cuanto a la persistencia de las interferencias con el tiempo, las mismas tienen una frecuencia de ocurrencia del 16,7%, presentando una naturaleza aleatoria. Luego, se destacan los ecos de terreno asociados a las Sierras de Córdoba hacia el Oeste (Fig. 4a) y luego en torno al radar y hacia el este hasta aproximadamente 70 kilómetros ecos asociados a la misma Ciudad de Córdoba y también, probablemente, por ecos de suelo en condiciones de propagación anómala. La reflectividad media de los ecos de tierra es de 8,4 dBZ, con valores máximos en torno a 48 dBZ. La frecuencia de ocurrencia media de los ecos de suelo es de 65,6% con algunas zonas que alcanzan el 100%.

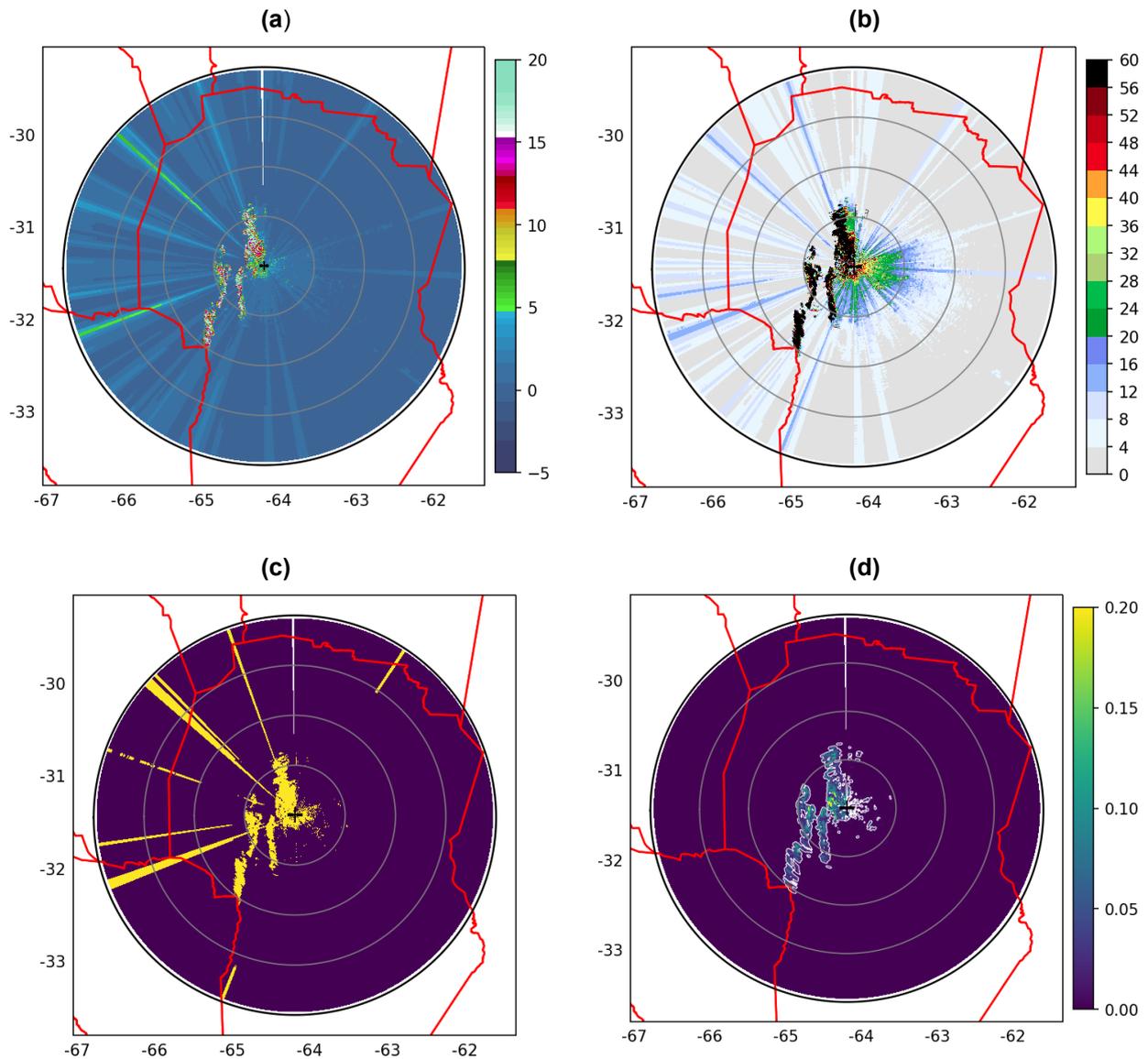


Fig. 3 (a) Campo \bar{Z} [dBZ], (b) mapa (FoR) [%], (c) máscara de píxeles con $\bar{Z} > 2$ dBZ y FoR $> 10\%$ y (d) mapa de TFoR, donde en contornos se muestra el área con valores de TFoR mayores que 0,1. Todos los campos que se muestran corresponden a la primera elevación del radar RMA1. La separación entre anillos es de 60 kilómetros. El rango de cobertura de todos los radares es de 240 kilómetros.

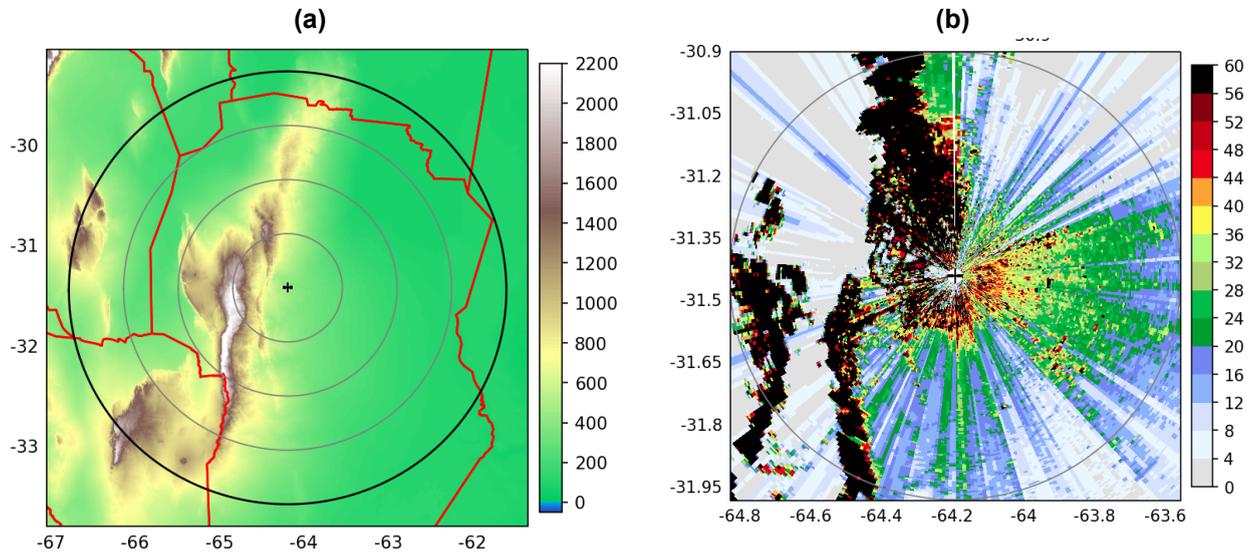


Fig. 4 (a) Mapa topográfico. (b) Zoom de la Figura 3b. La separación entre anillos es de 60 kilómetros. El rango de cobertura de todos los radares es de 240 kilómetros.

4.2 Radar RMA2

En este radar, la presencia de interferencias también es un problema común, donde algunas de ellas presentan una naturaleza persistente en el tiempo como las que se pueden observar hacia el NE y ESE en la Figura 5b, con una frecuencia máxima de ocurrencia del 75% y reflectividad media de 5 dBZ. Luego los ecos asociados a edificaciones y arboledas cercanas al radar también son evidentes en torno del radar ($FoR > 21\%$). La reflectividad media de estos ecos es de 6,4 dBZ, con valores máximos en torno a 38 dBZ. La frecuencia de ocurrencia media de los ecos de suelo es de 64,3% con algunas zonas que alcanzan el 100%. Un punto a destacar son los bloqueos parciales muy evidentes en todo el cuadrante NO (desde el SO al N) donde se puede observar la naturaleza bandeada y discontinua radial a radial del campo de FoR (ver detalle en Figura 5d). Si bien el análisis se está realizando sólo en días sin precipitación, esos bloqueos son visibles gracias a los ecos de capa límite o cercanos al radar en condiciones de propagación anómala. También hacia el SE algunos radiales presentan bloqueos significativos. Por último, es interesante observar cómo a lo largo de toda la costa de Uruguay se observan máximos relativos de FoR producto de la reflexión de la señal de radar sobre el suelo en condiciones de propagación anómala (Fig. 5b).

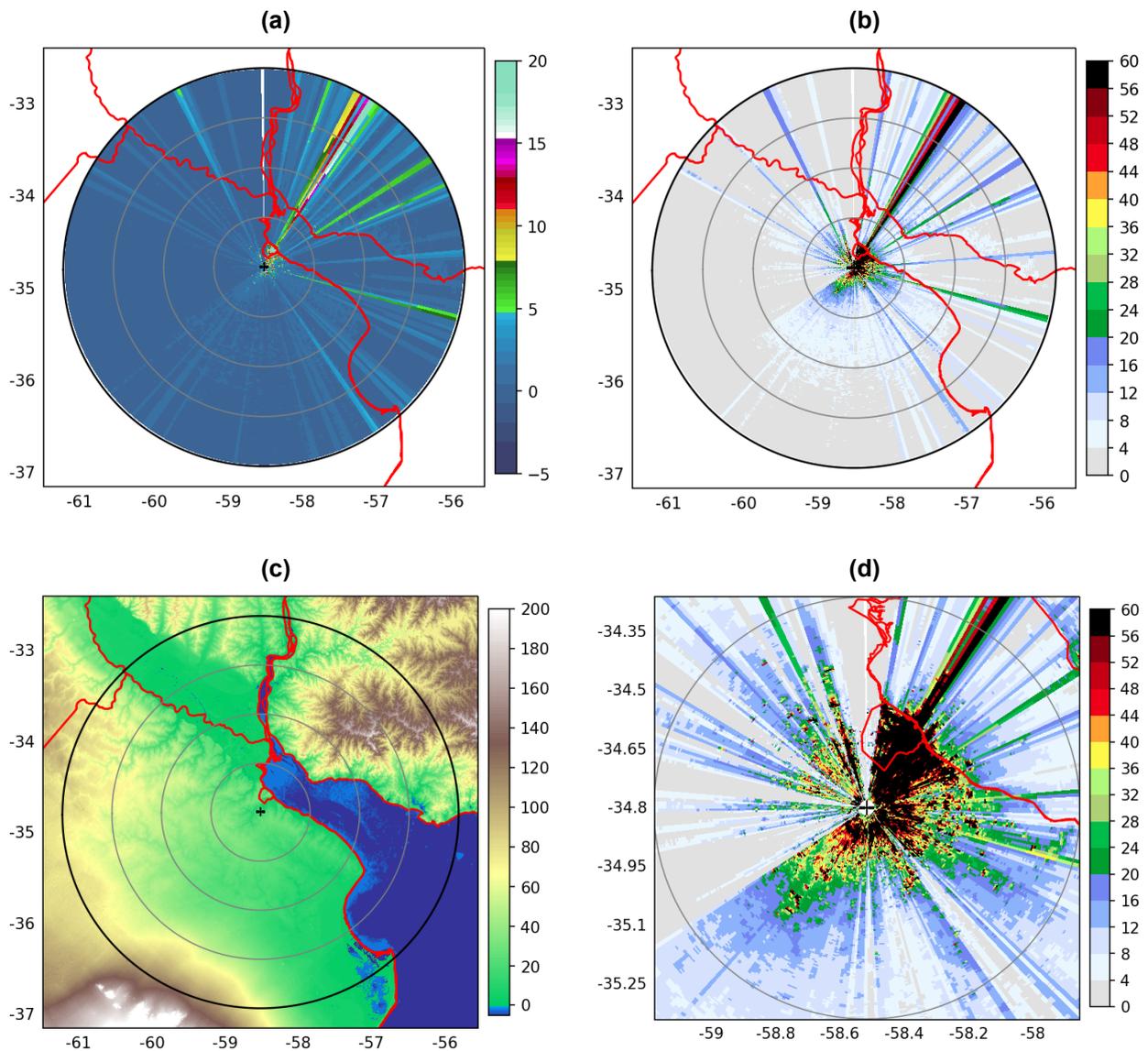


Fig. 5 (a) Campo \bar{Z} [dBZ], (b) mapa (FoR) [%], (c) topografía y (d) zoom del campo FoR en torno del radar. Todos los campos que se muestran corresponden a la primera elevación (0.5°) del radar RMA2. La separación entre anillos es de 60 kilómetros. El rango de cobertura de todos los radares es de 240 kilómetros.

4.3 Radar RMA3

A diferencia de los campos FoR de los radares RMA1 y RMA2, el campo FoR del radar de Las Lomitas (Fig. 6b) presenta una distribución homogénea en forma de anillos concéntricos más o menos regulares en torno del radar que podría estar explicado por la ausencia de bloqueos tanto parciales como totales. Sólo hacia el NNO se presenta un radial con bloqueo parcial que podría estar relacionado con la presencia de la torre de un radar de control de tráfico aéreo ubicado a aproximadamente 600 metros del sitio del radar meteorológico (Fig. 6d). Además, este radar se encuentra muy poco afectado por interferencias y sólo se destaca un único radial hacia el NO (Fig. 6b), con una frecuencia máxima de ocurrencia de 85% y reflectividad media de 3 dBZ.

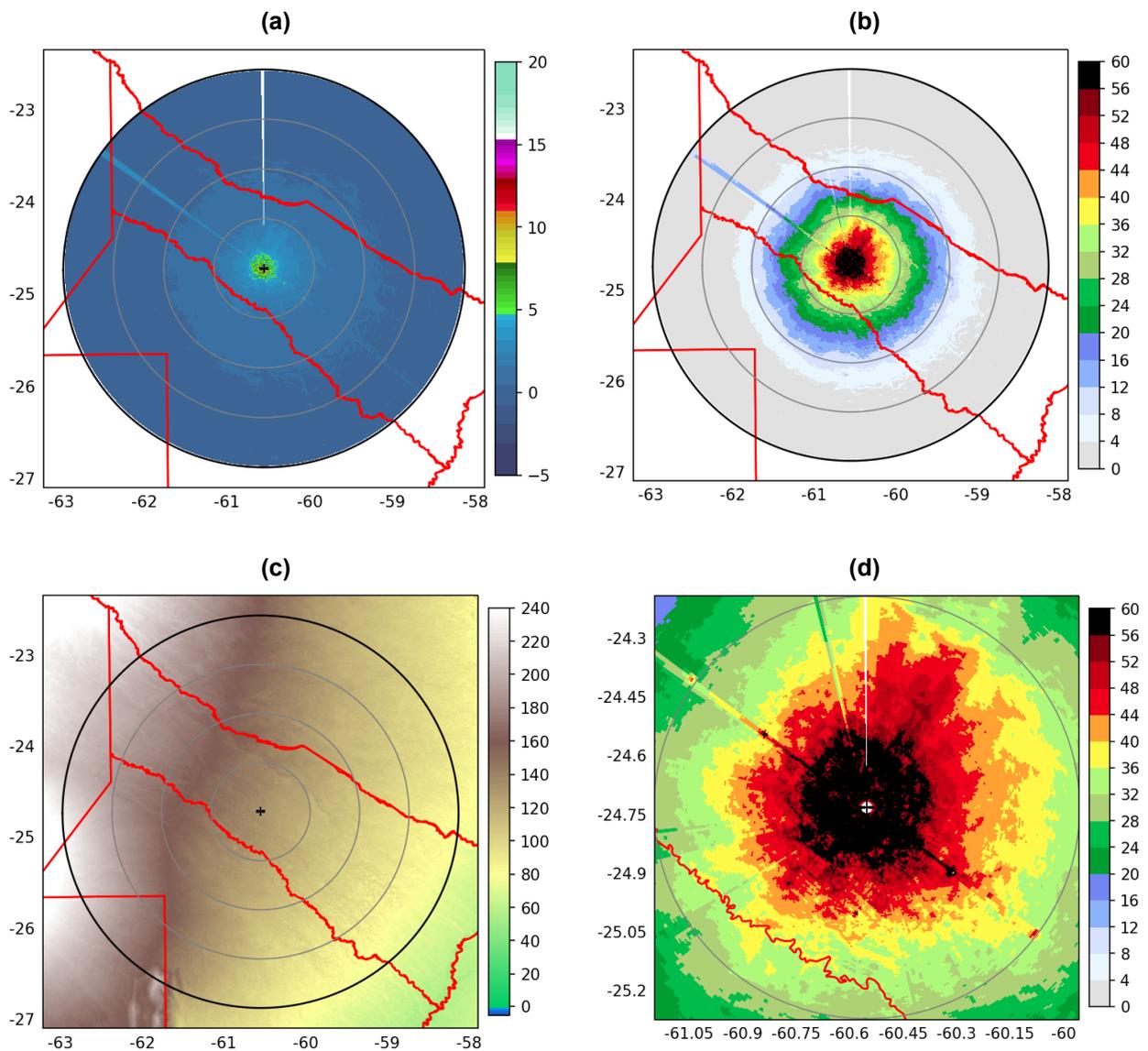


Fig. 6: Idem Figura 5 pero para el radar RMA3 ubicado en Las Lomitas (Formosa).

4.4 Radar RMA4

La forma del área delimitada por un valor de FoR cercano al 18% es bastante simétrica salvo hacia el SE (Fig. 7b). Esto estaría indicando que respecto de los bloqueos parciales y/o totales, este sitio presenta poca afectación en las otras direcciones. No obstante hacia el NNE se presenta un radial con una afectación significativa que responde a la presencia de la torre de control del Aeropuerto distante a unos 400 metros del sitio radar (Fig. 7d). Luego, hacia el SE la visibilidad del radar se ve afectada en parte por la Ciudad de Resistencia. En esa misma dirección se puede observar una región con valores de FoR mayores que 54% sobre el noreste de la provincia de Corrientes que estarían respondiendo a ecos de la propia Ciudad de Corrientes como de la costa del Río Paraná (Fig. 7d).

La reflectividad media de estos ecos de tierra es de 7,2 dBZ, con valores máximos en torno a 35 dBZ, mientras que la frecuencia de ocurrencia media es de 75,2% con algunas zonas que alcanzan el 100%. En términos de interferencias, podemos identificar un radial afectado muy frecuentemente hacia el SE (con valores de FoR>54%) seguido por otros radiales hacia dicho cuadrante, todos ellos asociados probablemente a fuentes ubicadas en Resistencia (Fig. 7b) con una frecuencia máxima de ocurrencia de 97,5% y reflectividad media de 4,7 dBZ.

4.5 Radar RMA5

Este radar presenta hacia el oeste bloqueos totales que se reflejan en el mapa con una porción del disco de cobertura del radar con valores de FoR iguales a cero (Fig. 8b). Luego junto a esta zona y en sentido horario se presentan varios radiales con bloqueos parciales. El origen de esta degradación de la señal podría estar en la presencia de árboles de gran porte en cercanías del sitio radar ya que no se observan rasgos topográficos que pudieran estar limitando el campo de visión (Fig. 8c). En términos de interferencias, se pueden observar al menos tres radiales contaminados hacia el E y NE con una frecuencia media de ocurrencia de 33,5% y reflectividad media de 6,8 dBZ. Todos ellos en la dirección de las ciudades de Bernardo de Irigoyen del lado argentino y Dionisio Cerqueira del lado brasilero.

Relacionado con la presencia de ecos de terreno, se observan cerca del radar -dentro de un radio de 50 km (Fig. 8d)- zonas con valores de FoR mayores que 33% (negro) que responden por un lado al terreno irregular de la zona como a las edificaciones, ambas presentes a partir de los lóbulos laterales de la antena. Hacia el norte y a una distancia aproximada de 120 km del radar también se ven zonas con valores altos de FoR que pudieran estar respondiendo al efecto de la señal de radar sobre el terreno ondulado de la región en condiciones atmosféricas de propagación anómala. La reflectividad media de estos ecos de tierra es de 6,5 dBZ, con valores máximos en torno a 31 dBZ, mientras que la frecuencia de ocurrencia media es de 65,8% con algunas zonas que alcanzan el 97,4%.

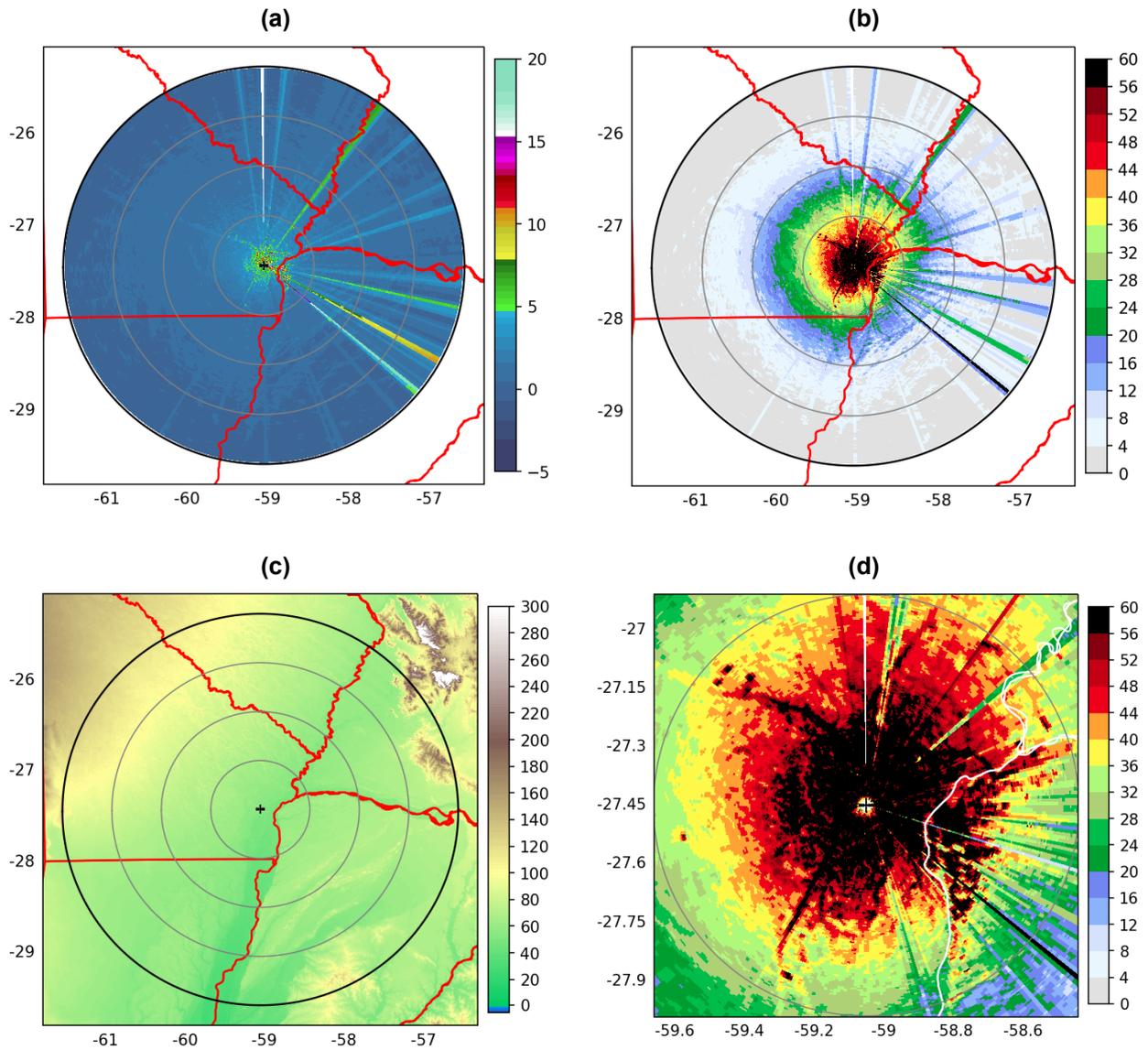


Fig. 7 Idem Figura 5 pero para el radar RMA4 ubicado en Resistencia (Chaco).

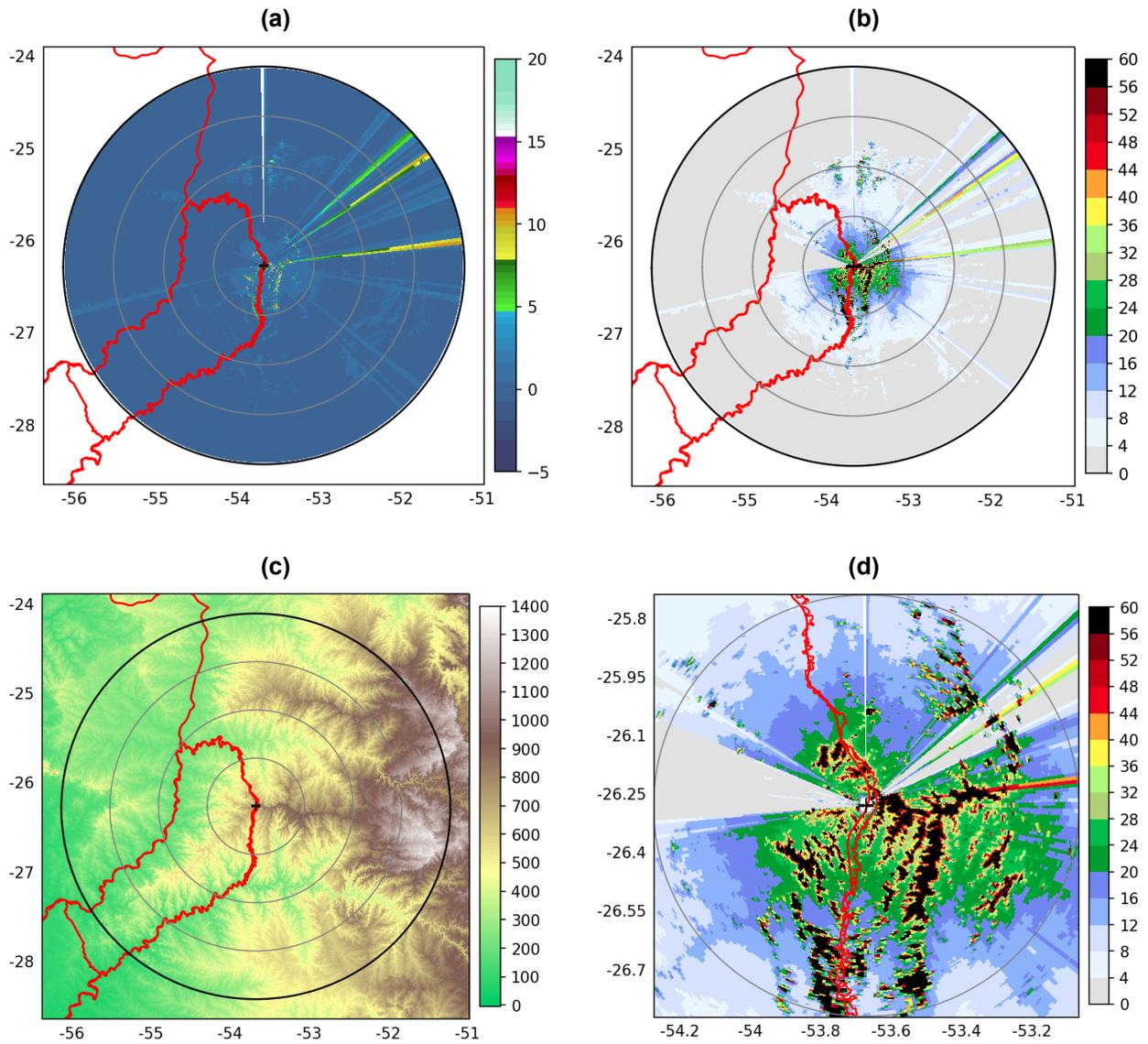


Fig. 8 Idem Figura 5 pero para el radar RMA5 ubicado en Bernardo de Irigoyen (Misiones).

4.6 Radar RMA6

La característica más significativa de este radar es el clutter de mar al este del sitio (Fig. 9b), que exhibe una forma de abanico elíptico con el eje mayor paralelo a la costa. Cabe recordar que el radar se ubica apenas a 200 metros de la costa sobre una torre de 35 metros de altura. En la dirección opuesta al mar se observan varias regiones con distintos niveles de bloqueos. Estos se originan tanto en las Sierras de los Padres ubicadas hacia el OSO (Fig. 9c) del sitio radar como de los edificios propios de la ciudad de Mar del Plata que se ubica al sur del radar. Hacia el NNO también se presenta una zona de bloqueos parciales que pudieran estar asociados a la presencia de arboledas en las proximidades del radar.

En términos de interferencias, se observan en dirección a la ciudad de Mar del Plata y luego una bastante frecuente hacia el NNE, con una frecuencia media de ocurrencia de 33,8% y reflectividad media de 2,7 dBZ. Por último se observan ecos de terreno sobre el continente en cercanías del radar y pegados a la costa que coinciden con la posición de la Laguna de Mar Chiquita (Fig. 9c), un espejo de agua alargado paralelo a la costa y cuya separación del Mar Argentino es una cadena de altas dunas.

La reflectividad media de estos ecos de tierra es de 6,8 dBZ, con valores máximos en torno a 37 dBZ, mientras que la frecuencia de ocurrencia media es de 59,5% con algunas zonas que alcanzan el 100%.

4.7 Radar RMA7

En el mapa FoR (Fig. 10b) la característica más significativa es el clutter de terreno con valores altos (zonas de color negro) en su mayoría dentro de un radio de 60 kilómetros respecto del sitio radar y que se correlacionan muy bien con los rasgos topográficos de la zona (Fig. 10c). No obstante hacia el NNO y a una distancia aproximada de 150 km se puede observar una zona acotada de valores altos de FoR que responden a la interacción de la señal de radar en las sierras de Auca Mahuida (Fig. 10c).

La reflectividad media de estos ecos de tierra es de 7 dBZ, con valores máximos en torno a 32 dBZ, mientras que la frecuencia de ocurrencia media es de 69,9% con algunas zonas que alcanzan el 100%. Tanto hacia el norte como hacia el sudeste se destacan numerosas direcciones contaminadas por interferencias, con reflectividad media de 3 dBZ y una frecuencia media de ocurrencia de 16,8%.

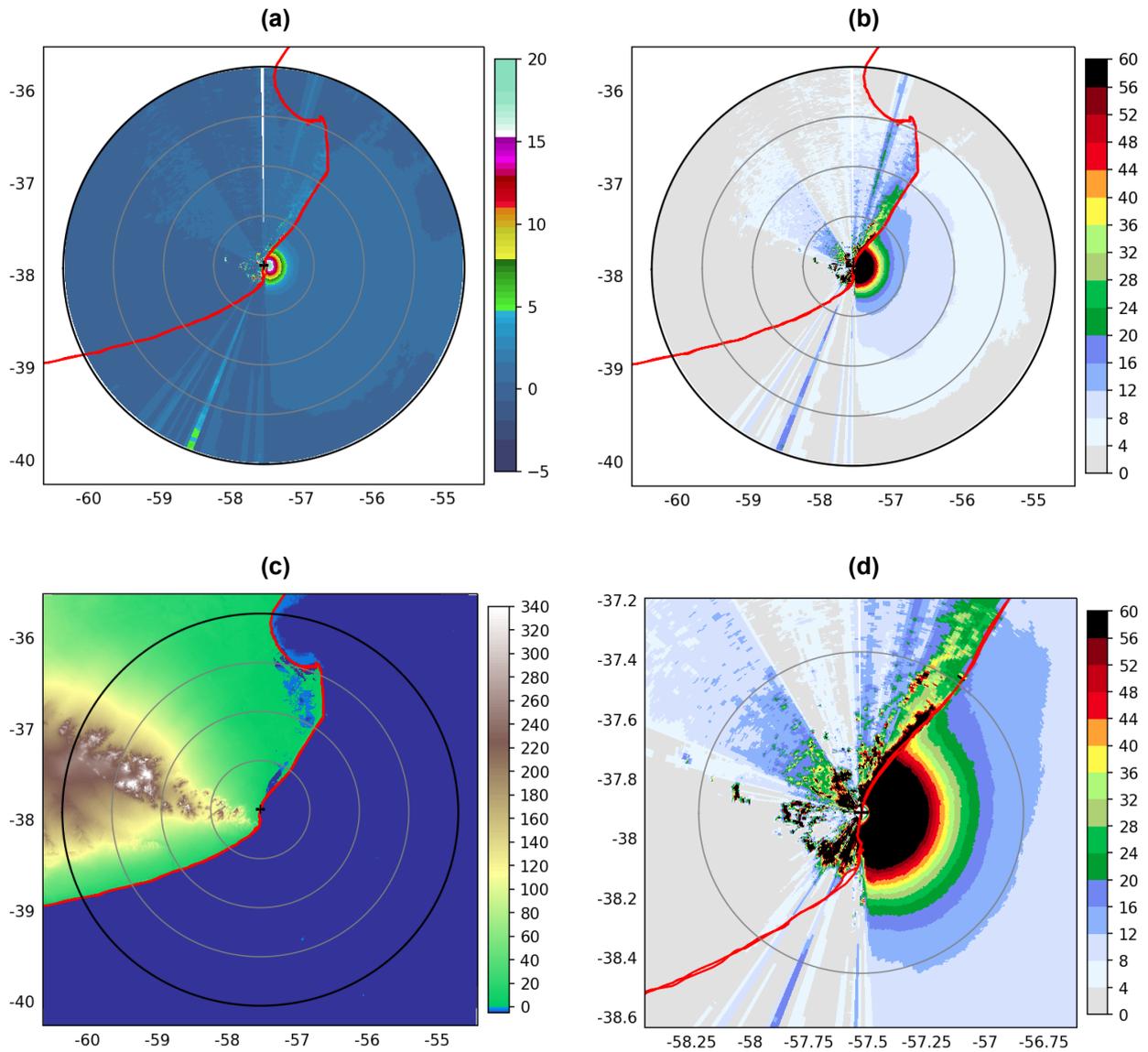


Fig. 9: Idem Figura 5 pero para el radar RMA6 ubicado en Mar del Plata (Buenos Aires).

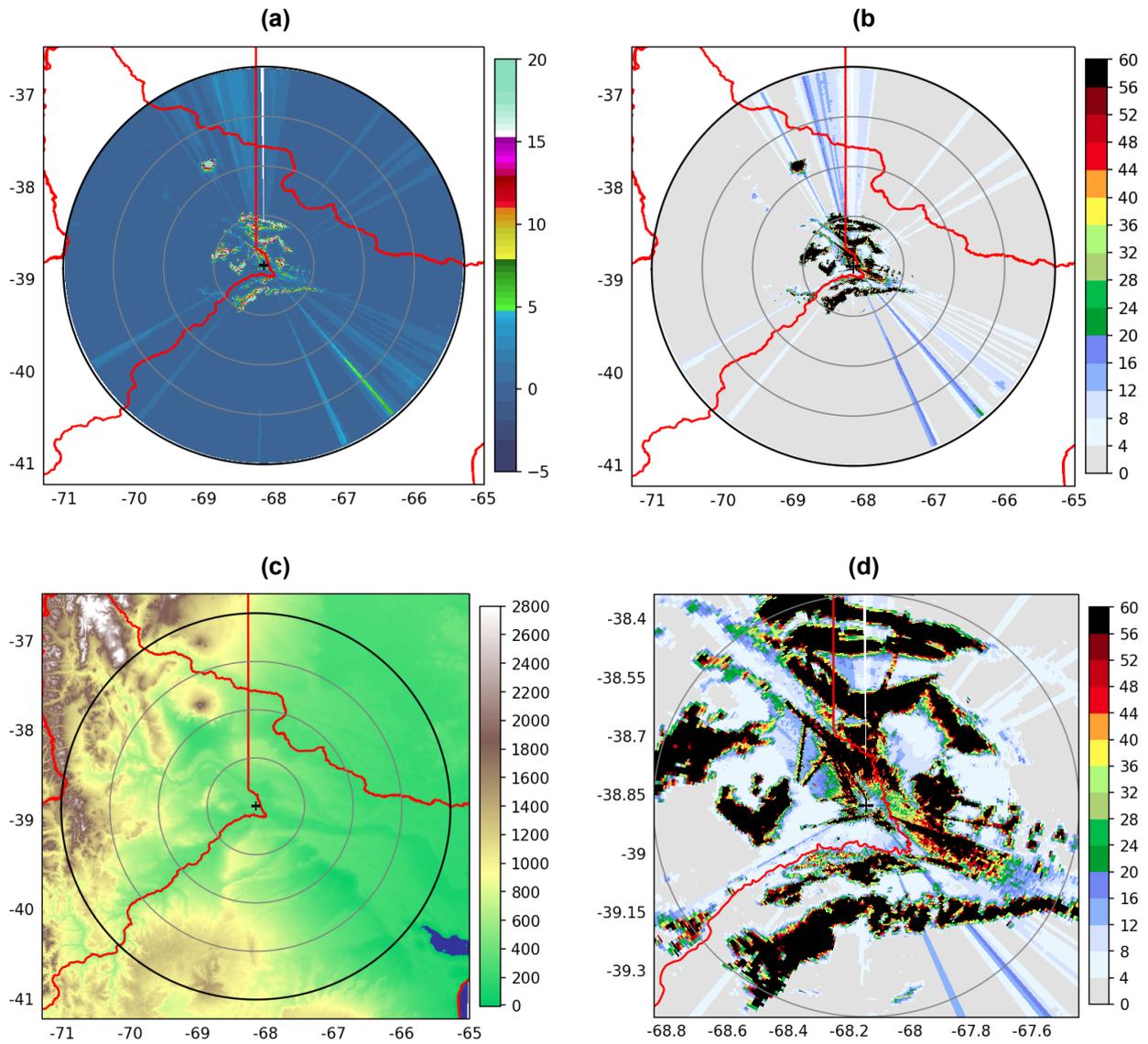


Fig. 10 Idem Figura 5 pero para el radar RMA7 ubicado en la ciudad de Neuquén.

4.8 Radar RMA8

En este radar, ubicado en el corazón de la provincia de Corrientes, la característica más sobresaliente en el mapa de frecuencias (Fig. 11b) es la inhomogeneidad espacial de las regiones con valores altos de FoR. Cerca del radar se pueden identificar ecos de terreno producto de la señal entrante por los lóbulos laterales de la antena (Fig. 11d), cuya reflectividad media de estos ecos de tierra es de 4,9 dBZ, presentando valores máximos en torno a 25 dBZ, mientras que la frecuencia de ocurrencia media es de 59,9% con algunas zonas que alcanzan el 100%.

A distancias mayores las condiciones de propagación anómala aparentemente muy frecuentes en esta zona del país favorecen la ocurrencia de valores altos de FoR a distancias de entre 60 y 120 km, e incluso más lejos aún en zonas puntuales y cuyas formas se correlacionan muy bien con los rasgos propios del terreno (Fig. 11c). Un aspecto interesante a explorar es cuánto podría estar influenciando el gran humedal asociado a los Esteros del Iberá en los cambios del perfil vertical del índice de refracción. Respecto de las interferencias, se destacan al menos tres direcciones principales, de bajo impacto debido a su reflectividad media 0,5 dBZ y una frecuencia media de ocurrencia de 7%. Dos de ellas orientadas hacia el ONO en dirección a la ciudad de Mercedes y la tercera hacia el NNO.

4.9 Radar RMA9

El sector noreste (Fig. 12b) no presenta un clutter marino tan bien definido (Fig. 12d) como en el caso del radar RMA6 ubicado en Mar del Plata (Fig. 9b). Cabe mencionar que el sitio de este radar se ubica a unos 4 kilómetros de la costa, a diferencia del RMA6 que está emplazado a tan sólo 200 metros del mar. Alrededor del sitio se observan algunos ecos de terreno pero no son tan significativos como en otros radares. Se destaca al sudoeste los ecos estáticos asociados a los Andes Fueguinos (Fig. 12c).

La reflectividad media de estos ecos de tierra es de 8,5 dBZ, con valores máximos en torno a 35 dBZ, mientras que la frecuencia de ocurrencia media es de 65,9% con algunas zonas que alcanzan el 100%. Respecto de las interferencias, este no es un sitio que al momento de escribir esta Nota Técnica presenta un gran número de radiales contaminados con interferencias.

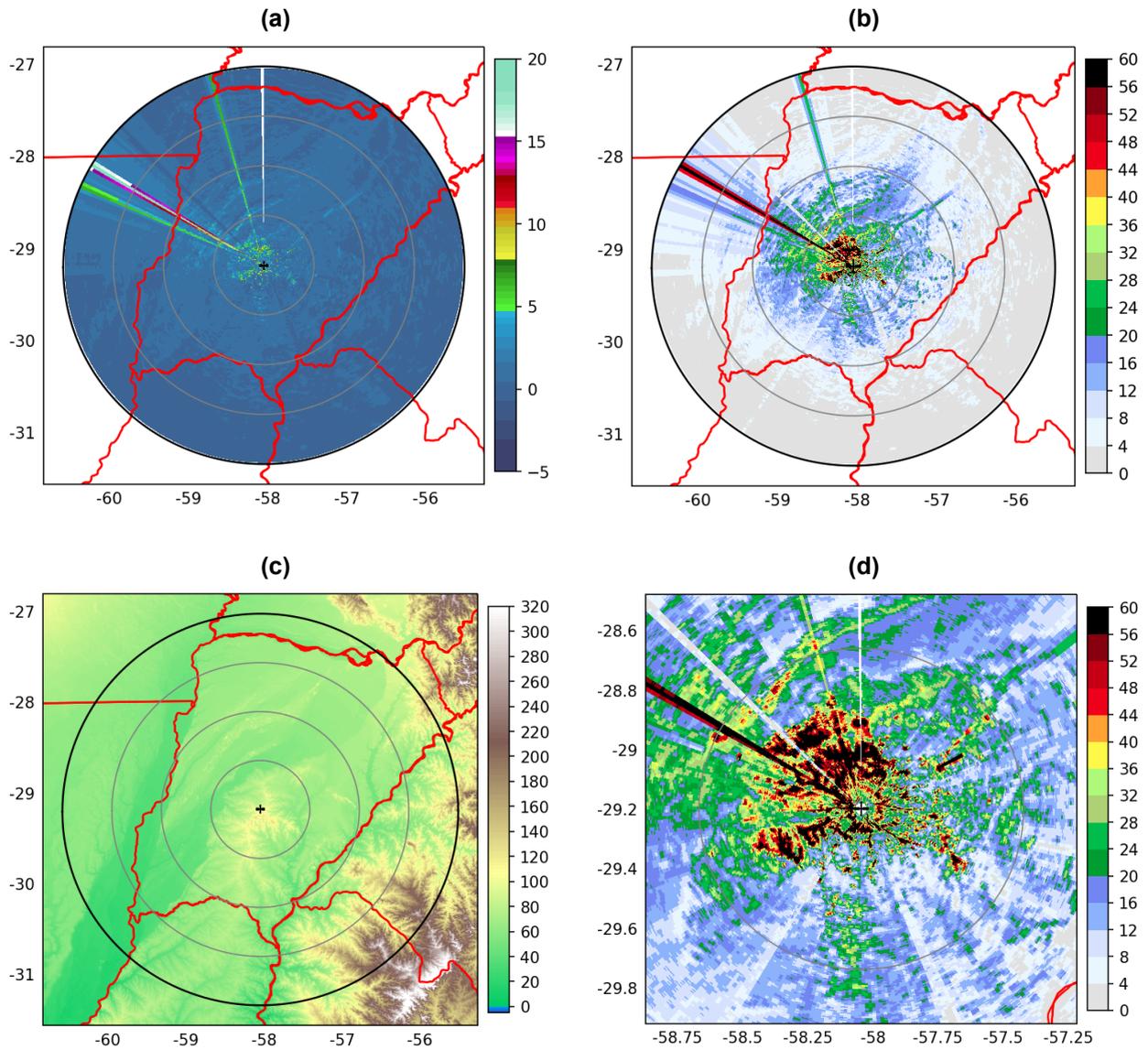


Fig. 11 Idem Figura 5 pero para el radar RMA8 ubicado en Mercedes (Corrientes).

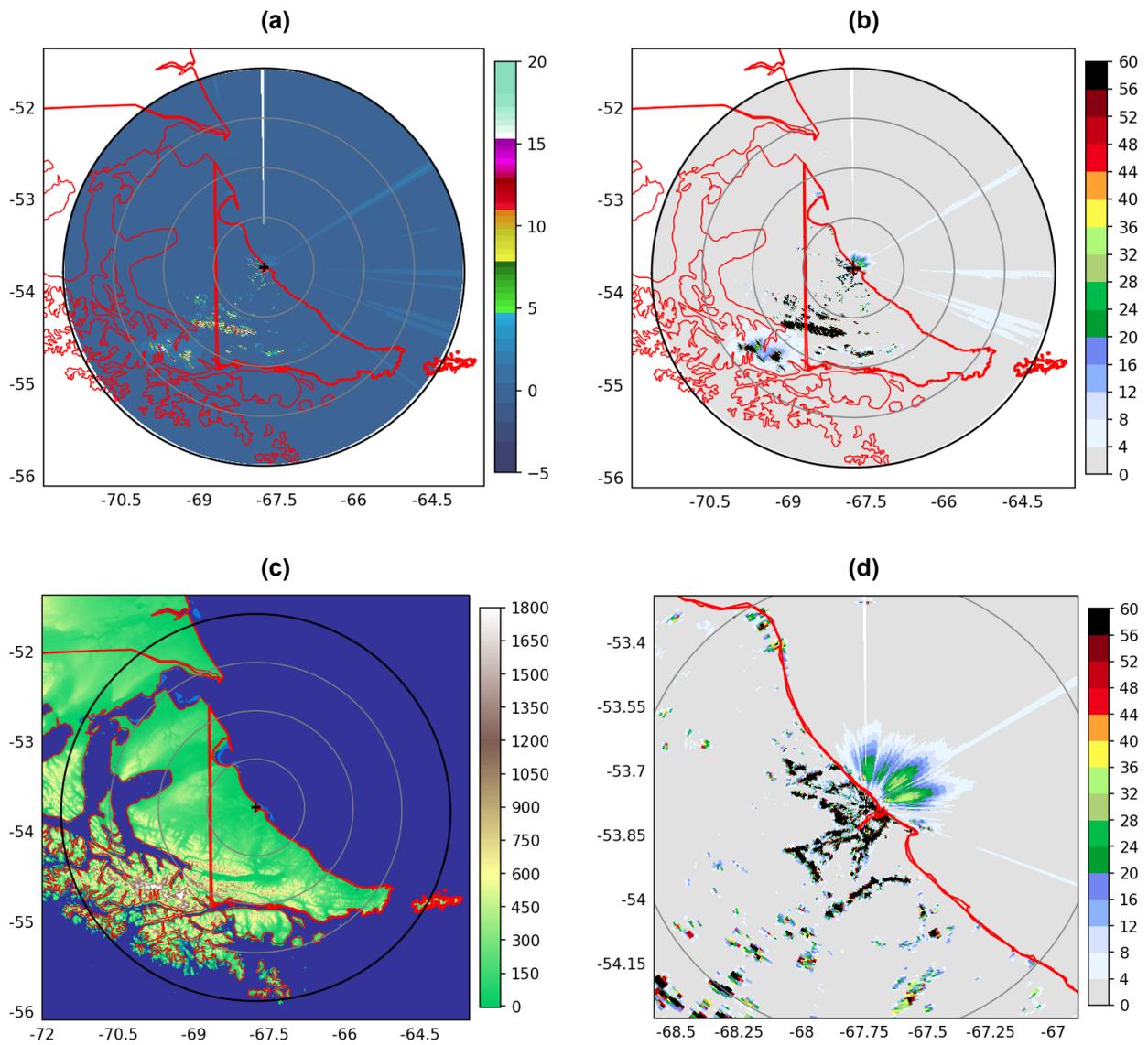


Fig. 12 Idem Figura 5 pero para el radar RMA9 ubicado en Río Grande (Tierra del Fuego).

4.10 Radar RMA10

El mapa FoR (Fig. 13b) se caracteriza por presentar abundantes ecos de terreno cerca del radar con reflectividad media de 7,8 dBZ y con valores máximos en torno a 43 dBZ, mientras que la frecuencia de ocurrencia media es de 65,6% con algunas zonas que alcanzan el 100%. Estos ecos están asociados tanto a la entrada de señal por lóbulos laterales como a ecos relacionados con el Sistema de Ventania ubicado hacia el NNE del radar (Fig. 13c). Este sistema está conformado por varios cordones (Pigüé, Puan, Tres Picos y las estribaciones de Pillahuincó) con el pico más alto alcanzando una altura de 1239 m.s.n.m. (Co. Tres Picos; Lat: 38°9'20.16"S Lon: 61°57'0"O).

Además cabe mencionar que dentro de un radio de aproximadamente 60 kilómetros se encuentran emplazados varios parques eólicos. Algo a destacar también es la presencia de ecos de terreno a distancias mayores a 100 km cerca de la costa, tanto hacia el este como hacia el sur, asociado a condiciones de propagación anómala y cambios en el gradiente de humedad debido al contraste suelo-agua. Algo similar se observa sobre el mar hacia el SO.

Respecto de los radiales contaminados con interferencias, se destacan varios de ellos siendo los más frecuentes los que apuntan hacia el ONO y OSO, con reflectividad media de 4,3 dBZ y una frecuencia media de ocurrencia de 23,8%. En cuanto a la interferencia que apunta hacia el OSO, llama la atención por el patrón de frecuencia resultante en el mapa, tal vez asociado a la naturaleza pulsante de la interferencia y su relación con el muestreo del radar.

4.11 Radar RMA11

Una característica sobresaliente en este mapa FoR que se muestra en la Figura 14b es la presencia de ecos de terreno hacia el oeste con orientación norte-sur, los cuales presentan reflectividad media de 15,8 dBZ y con valores máximos en torno a 40,8 dBZ, mientras que la frecuencia de ocurrencia media es de 80,6% con algunas zonas que alcanzan el 100%. asociados con la precordillera de los Andes (Fig. 14c). Esta cadena montañosa, que posee alturas máximas superando los 4000 m.s.n.m., genera bloqueos totales hacia esta zona limitando el campo de visión del radar hacia esta dirección. Esta discusión será abordada con más detalle en una próxima Nota Técnica.

Luego se observan más ecos de terreno bien cerca del sitio del radar (Fig. 14d), algunos también asociados con topografía como es el caso de las Sierras de Guasayán (con alturas máximas del orden de los 700 m.s.n.m.) inmediatamente al sur del radar y también con una orientación norte-sur, limitando también el campo de visión del radar, al menos esta primera elevación de antena (0,5°).

En términos de contaminación por interferencias, se observan varias direcciones afectadas por este problema, destacándose aquella orientada hacia el ENE, con reflectividad media de 3 dBZ y una frecuencia media de ocurrencia de 13,3%.

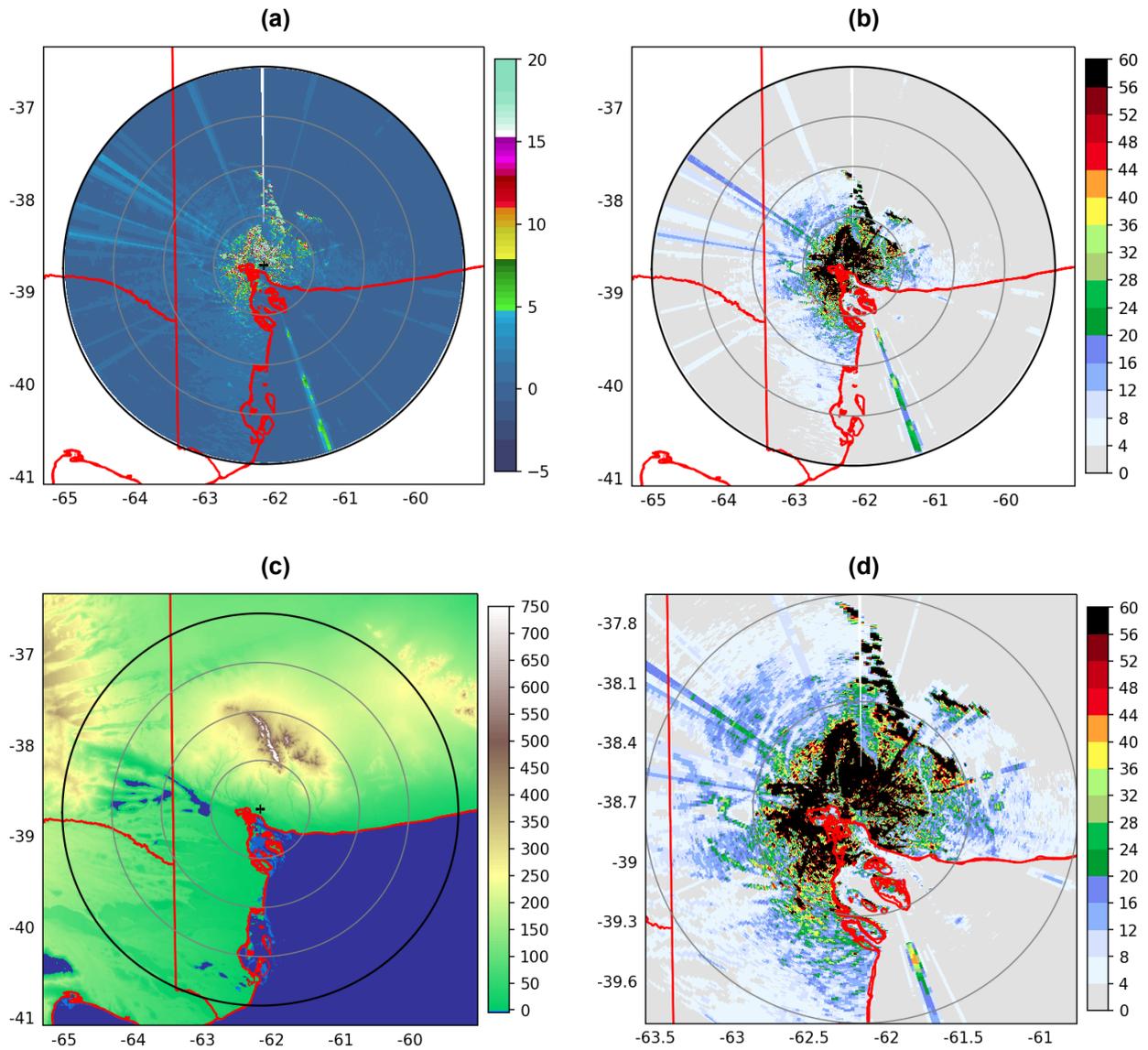


Fig. 13 Idem Figura 5 pero para el radar RMA10 ubicado en Bahía Blanca (Buenos Aires).

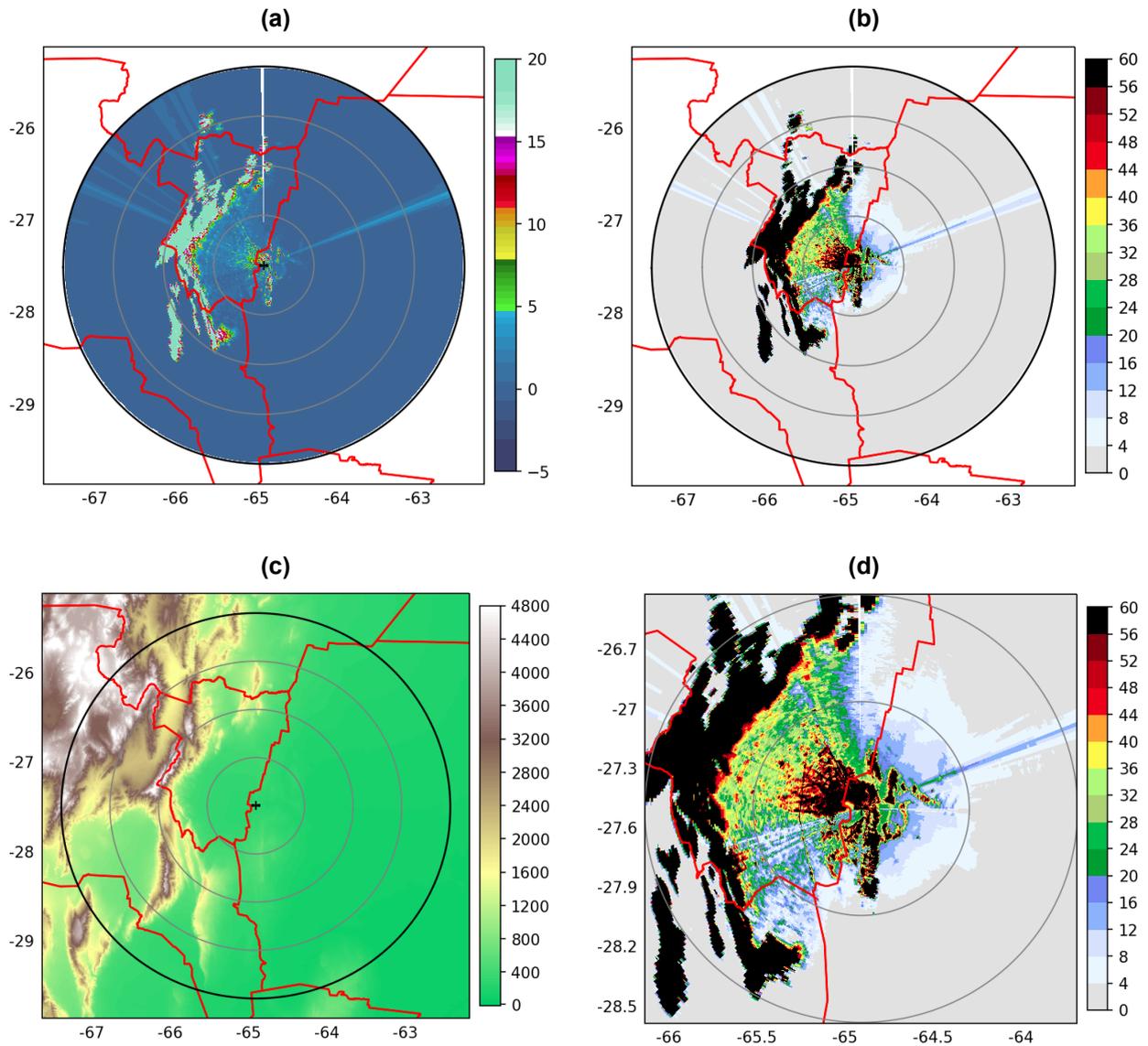


Fig. 14 Idem Figura 5 pero para el radar RMA11 ubicado en Termas de Río Hondo (Santiago del Estero).

5. CONCLUSIONES

En esta Nota Técnica se ha llevado a cabo el primer análisis climatológico de ecos no meteorológicos en Argentina usando la nueva red de radares RMA que conforman el SINARAME. El estudio incluye 20 meses de datos de distintos radares en Argentina con el propósito de generar mapas estáticos de ecos no meteorológicos. Se distinguió entre volúmenes de radar con y sin precipitación a través de medidas objetivas. Luego, con la reflectividad de radar de los volúmenes sin presencia de ecos meteorológicos para la elevación de antena más baja se identificaron áreas afectadas por ecos de tierra e interferencia electromagnética y así caracterizar los sitios para los 11 radares RMA que forman parte de la red del Sistema Nacional de Radares Meteorológicos (SINARAME). Habiendo analizado casi 2 años completos en todos los radares, los resultados muestran una sólida caracterización de los sitios de radar en términos estadísticos respecto a la persistencia de los ecos no meteorológicos y su impacto en la reflectividad de radar, contemplando además en el análisis la topografía, obstáculos naturales y/o artificiales, efectos de propagación anómala, entre otros.

Este primer análisis debe tomarse como exploratorio para comprender de mejor forma el comportamiento y ubicación promedio de las interferencias electromagnéticas así como conocer zonas de bloqueos parciales o totales del haz que dificultan la estimación cuantitativa de precipitación. A futuro, para refinar y ampliar esta metodología se identificarán áreas afectadas por ecos marítimos como una nueva categoría. Por el comportamiento esperado de las interferencias electromagnéticas, se considera oportuno realizar un análisis sobre la potencia recibida por el radar en paralelo al análisis sobre la reflectividad. No obstante, es llamativo que la bibliografía consultada trabaje con umbrales de reflectividad. Finalmente, esta metodología se extenderá a futuro a otros radares que componen la red SINARAME, particularmente los tres radares operativos del INTA. La metodología propuesta para este análisis es un punto de partida satisfactorio para caracterizar adecuadamente los sitios de radar, permitiéndonos a futuro realizar un análisis similar, pero considerando los volúmenes con presencia de ecos meteorológicos, de manera tal de identificar con mayor precisión bloqueos parciales o totales de la señal del radar.

Apéndice A

Como se ha mencionado en la metodología, se ha definido para identificar píxeles contaminados por ecos de GC y/o interferencia electromagnética RL, los umbrales de $\bar{Z} > 2$ dBZ para la reflectividad media y de $FoR > 10\%$ para la frecuencia de reflectividad teniendo en cuenta la relación de compromiso entre la delimitación de ecos GC y RL en el rango del radar y la maximización de situaciones aisladas.

En la Figura A.1 se pueden apreciar los resultados de un estudio de sensibilidad realizado sobre el RMA1, donde estos umbrales han sido modificados respecto a los propuestos en la metodología. Se puede observar en la Figura A.1a, donde se definen umbrales $\bar{Z} > 0$ dBZ y $FoR > 10\%$, no sólo la superposición de áreas afectadas por RL y GC, sino además, áreas afectadas por ecos de tierra debido a propagación anómala de baja reflectividad ($\bar{Z} < 2$ dBZ) caracterizados como ecos RL.

En la Figura A.1b el mapa de ecos no meteorológicos fue obtenido para umbrales $\bar{Z} > 2$ dBZ y $FoR > 1\%$, donde se puede apreciar mayor área de ecos de interferencia electromagnética en superposición con el área de ecos de tierra, respecto al mapa estimado con los umbrales propuestos. En contraposición, para los mapas de las Figuras A.1 c y d, se puede apreciar que tanto el aumento del umbral de \bar{Z} como el aumento del umbral de FoR generarán una disminución significativa de las áreas afectadas principalmente por interferencia electromagnética debido a una disminución de situaciones aisladas y/o de baja reflectividad radárica.

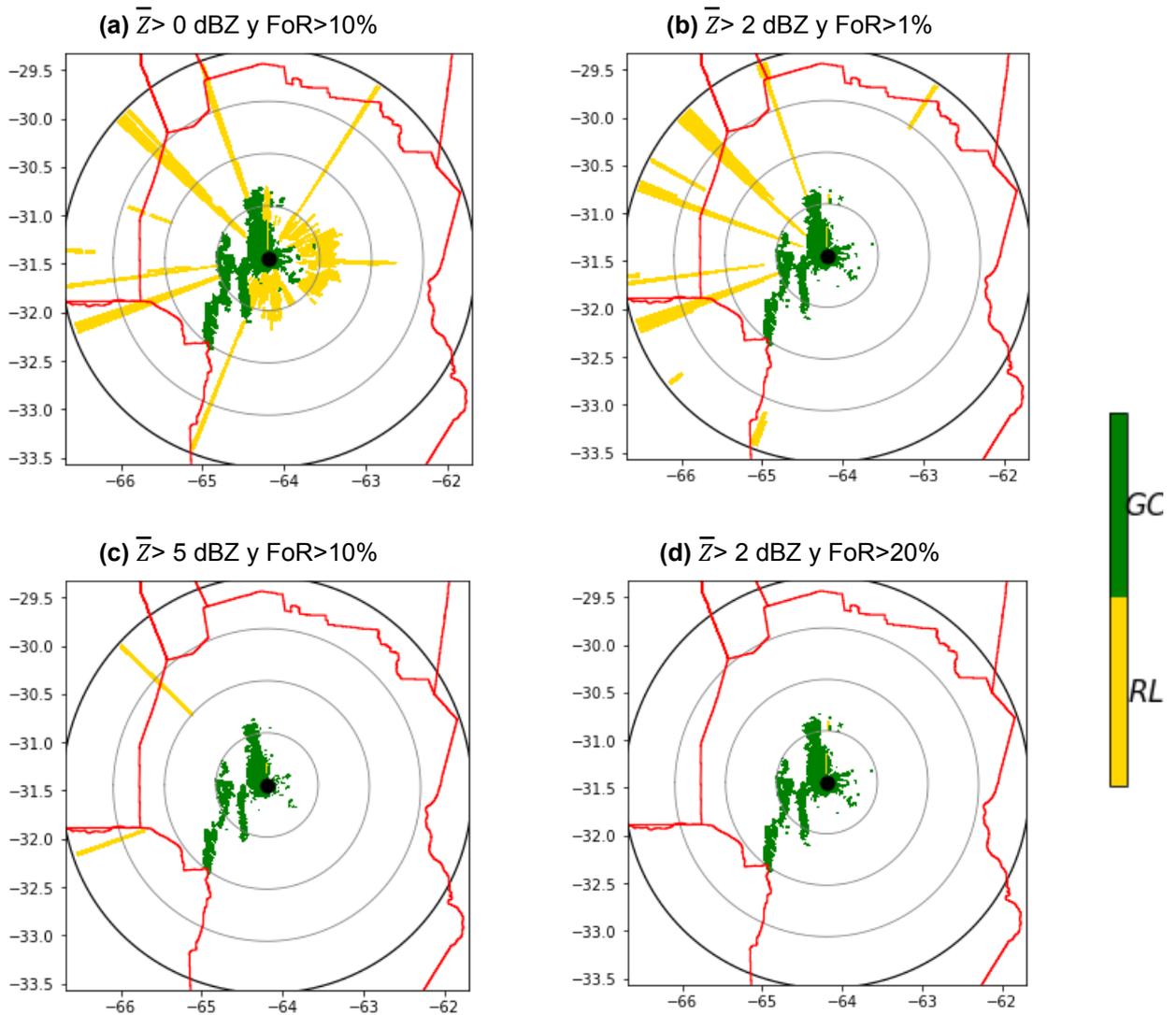


Fig. A.1 Estudio de “sensibilidad”. Se ha definido para identificar píxeles contaminados por ecos de GC y/o interferencia electromagnética RL, los umbrales de 2 dBZ para la reflectividad media y de 10% para la frecuencia de reflectividad. En la columna izquierda de la figura se puede apreciar los mapas de ecos estáticos modificando únicamente el umbral de reflectividad media a 0 dBZ (a) y 5 dBZ (c). En la columna derecha de la figura se puede apreciar los mapas de ecos estáticos modificando únicamente la frecuencia de reflectividad a 1% (b) y 20% (d).

Apéndice B

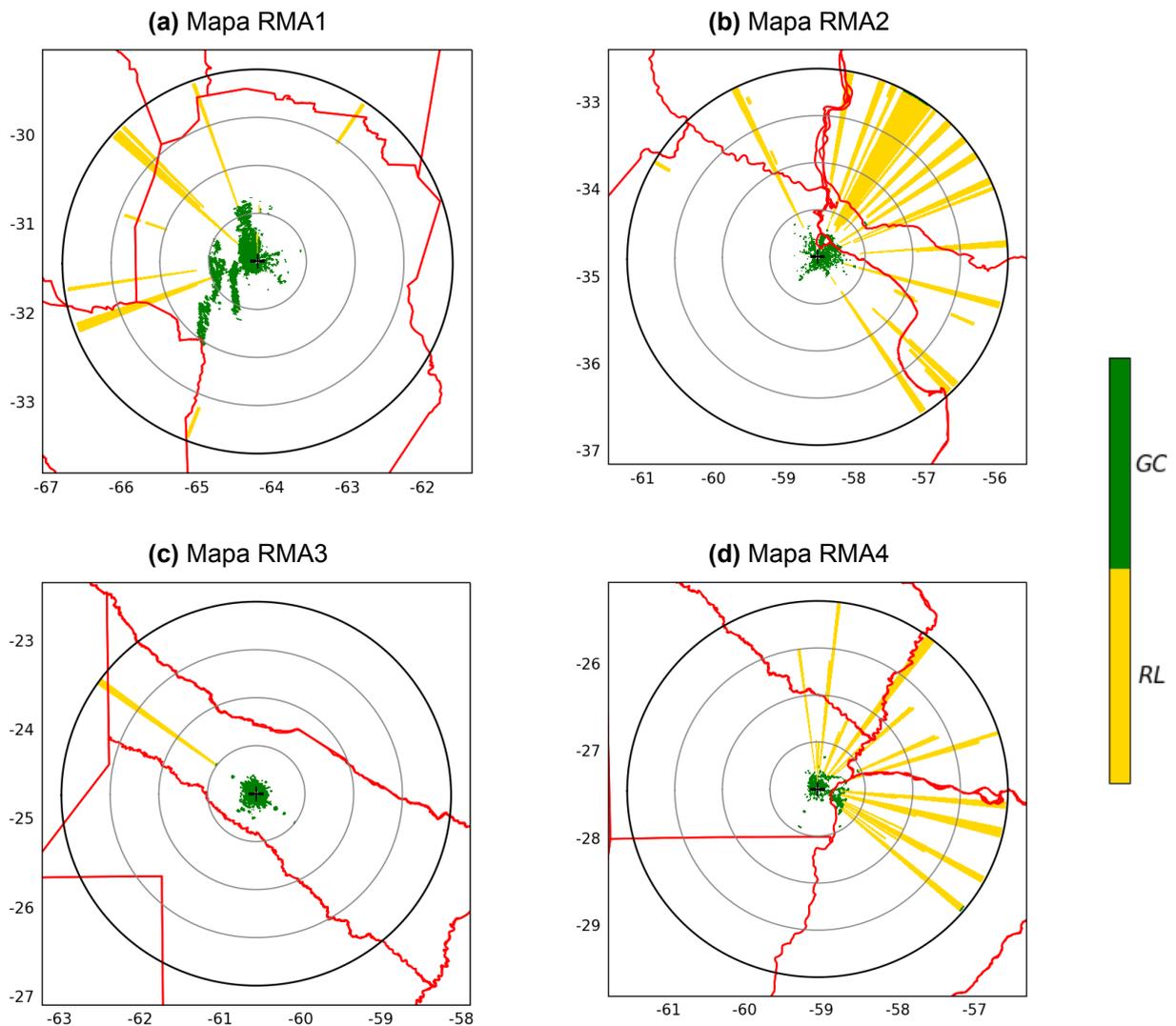


Fig. B.1 Mapas de clutter estático que representa los ecos de tierra (GC; verde) e interferencias (RL; amarillo) para una elevación de 0.5° . La separación entre anillos es de 60 kilómetros. El rango de cobertura de todos los radares es de 240 kilómetros. Desde (a) a (d) se muestran los mapas de clutter estáticos para los radares RMA1 a RMA4, respectivamente.

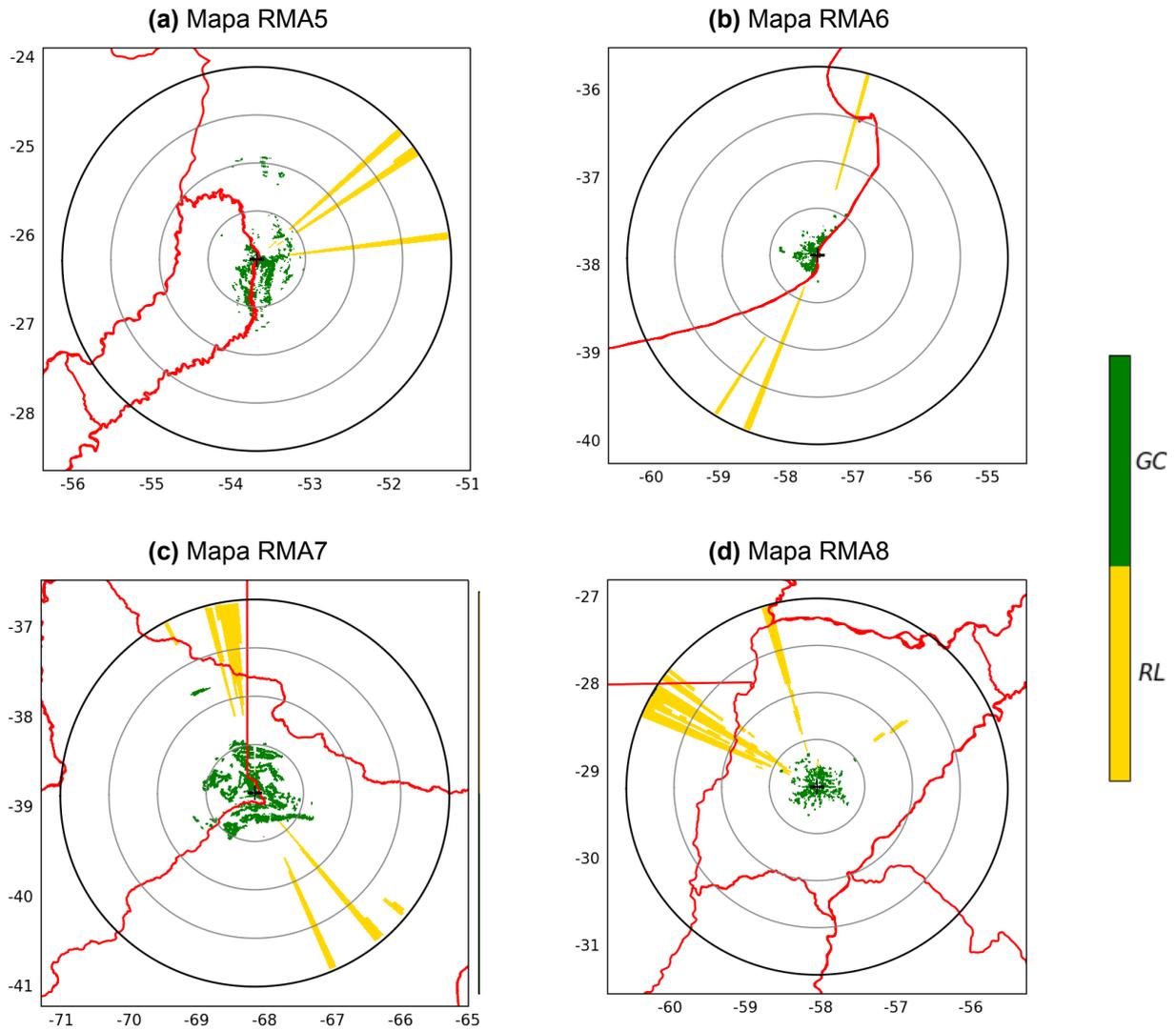


Fig. B.2 Ídem Figura B.1 pero para los radares RMA5 a RMA8.

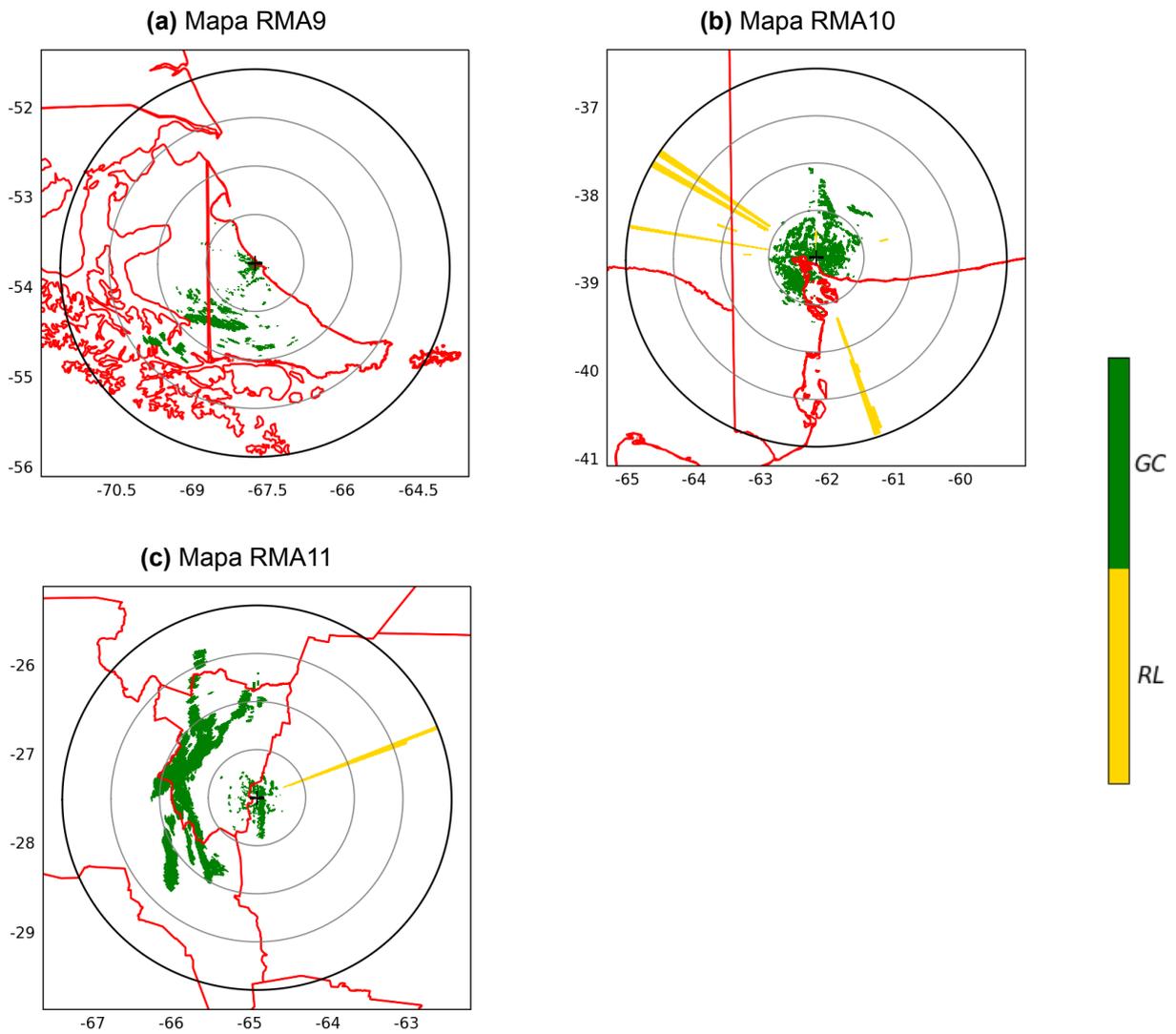


Fig. B.3 Ídem Figura B.1 pero para los radares RMA9 a RMA11.

REFERENCIAS

- Bringi, V. N., and V. Chandrasekar, 2001: Polarimetric Doppler Weather Radar: Principles and Applications. Cambridge University Press, 636 pp
- Chang, P. L., Lin, P. F., Jong-Dao Jou, B., & Zhang, J. (2009). An application of reflectivity climatology in constructing radar hybrid scans over complex terrain. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(7), 1315-1327
- de Elía R., L. Vidal, P. Lohigorry, R. Mezher y M Rugna, 2017: La red Argentina de radares meteorológicos de Argentina. Nota Técnica SMN 2017-39.
- Gourley, J. J., Tabary, P., & Du Chatelet, J. P. (2007). A fuzzy logic algorithm for the separation of precipitating from nonprecipitating echoes using polarimetric radar observations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 24(8), 1439-1451.
- Heinselman, P. L., & Schultz, D. M. (2006). Intraseasonal variability of summer storms over central Arizona during 1997 and 1999. *Weather and forecasting*, 21(4), 559-578.
- Kuo, J. T., & Orville, H. D. (1973). A radar climatology of summertime convective clouds in the Black Hills. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 12(2), 359-368.
- Krajewski, W. F., & Vignal, B. (2001). Evaluation of anomalous propagation echo detection in WSR-88D data: A large sample case study. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 18(5), 807-814.
- Paulitsch, H., Teschl, F., and Randeu, W. L.: Dual-polarization C-band weather radar algorithms for rain rate estimation and hydrometeor classification in an alpine region, *Adv. Geosci.*, 20, 3–8, <https://doi.org/10.5194/adgeo-20-3-2009>, 2009.
- Rodríguez, A.; Lacunza, C., Serra, J., Saulo, C., Ciappesoni, H., Caranti, G., Bertoni, J., Martina, A., 2017: SiNaRaMe: El Primer Sistema Integrado de Radares Hidro-Meteorológicos de Latinoamérica; Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Revista de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales ; 4; 1; 3-2017; 41-48.
- Steenburgh, W. J., Halvorson, S. F., & Onton, D. J. (2000). Climatology of lake-effect snowstorms of the Great Salt Lake. *Monthly Weather Review*, 128(3), 709-727.

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).