

Interferencias RLAN en radares meteorológicos: iniciativas para su mitigación lideradas por el Servicio Meteorológico Nacional

Martin Rugna¹, Luciano Vidal¹, Aldana Arruti¹, Daichi Kitahara²,
Juan Ruiz³, Ramón de Elía¹, and Tomoo Ushio²

¹Servicio Meteorológico Nacional, Buenos Aires, Argentina

²Osaka University, Osaka, Japón

³Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera, Buenos Aires, Argentina
`mrugna@smn.gob.ar`

Abstract. La interferencia por redes locales (RLAN) es esperable cuando dispositivos inalámbricos operan en frecuencias cercanas a las de los radares meteorológicos. Cuando el radar recibe las señales, estas se procesan como ecos genuinos y aparecen principalmente como líneas radiales en las imágenes, contaminando los datos y afectando tanto el análisis en tiempo real como las aplicaciones cuantitativas, como la estimación de precipitación. Desde 2011, ha aumentado significativamente la cantidad de interferencias que ocurren dentro de la porción del espectro electromagnético protegida para su uso exclusivo por los radares meteorológicos. Este trabajo muestra los esfuerzos liderados por el Servicio Meteorológico Nacional y el desarrollo colaborativo de herramientas para obtener datos de radar confiables en condiciones cada vez más adversas.

Keywords: radar meteorológico, interferencias, mitigación

1 Introducción

Las redes locales inalámbricas (RLAN, por sus siglas en inglés) como las generadas por los routers convencionales pueden interferir las señales de los radares meteorológicos. Esto significa un desafío significativo tanto en el contexto del análisis de la información en tiempo real por la oficina de pronóstico como en las aplicaciones cuantitativas tales como la estimación de precipitación [1] [2]. Las interferencias se presentan cuando un dispositivo transmisor inalámbrico opera en frecuencias cercanas a las de los radares. Estas señales, cuando son recibidas por el radar y procesadas como ecos genuinos, se presentan como líneas radiales en las imágenes de radar y, como resultado, contaminan los datos para todas las aplicaciones.

Desde el 2011, existe un aumento en las interferencias en datos de radares de Argentina provocadas por las señales RLAN que ocurren dentro de la porción del espectro electromagnético protegida para uso exclusivo de los radares meteorológicos; esto es de 5600 a 5650 MHz (lo que se conoce como la banda C)

tal como indica el Ente Nacional de Comunicaciones [3]. Estas interferencias son particularmente severas desde finales de 2012. A modo de referencia y como se muestra en [1], en el radar ubicado en la localidad de Ezeiza, provincia de Buenos Aires, para el año 2015 aproximadamente la mitad de la cobertura del radar se encontraba contaminada, teniendo las interferencias valores cercanos a los de la lluvia fuerte y granizo (mayores a 55 dBZ). La necesidad de identificar las causas y, posteriormente, la ubicación de las fuentes aumentó a medida que se comenzaron a instalar más radares en el marco del proyecto de radarización nacional (SINARAME: Sistema Nacional de Radares Meteorológicos, [4]). La mayoría de estos radares fueron situados en las cercanías de centros urbanos principalmente por razones de infraestructura lo que los volvió vulnerables a ser interferidos desde estas zonas aledañas.

Por otro lado, existen señales de interferencia beneficiosas para el sistema radar, como las ocasionadas por el Sol que son utilizadas para evaluar tanto el apuntamiento de la antena así como la condición de la cadena de recepción [5] [6]. Estas interferencias se observan a elevaciones de antena más altas y en momentos específicos del día lo que las diferencia de las interferencias por RLAN que mayoritariamente se presentan en las elevaciones más bajas y a toda hora. La Figura 1 muestra ejemplos de interferencias que a primera vista son similares pero que, luego de analizarlas por su persistencia temporal y movimiento azimutal, se puede concluir que son de diferentes fuentes.

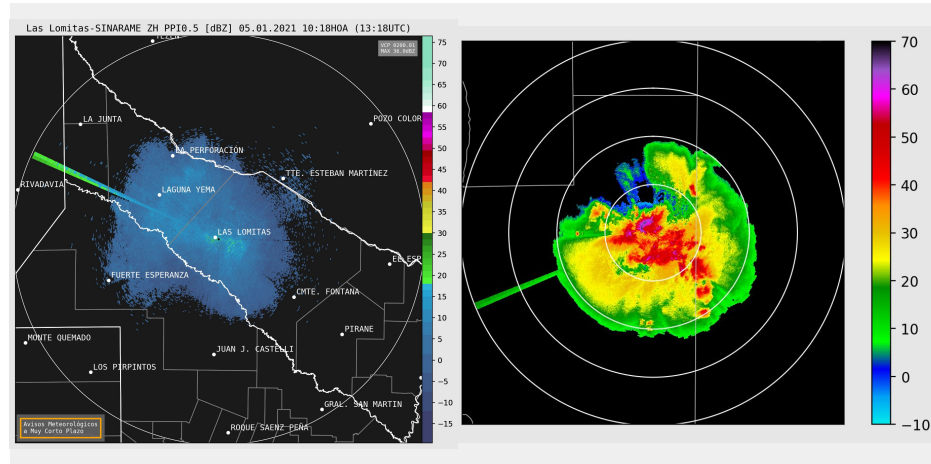


Fig. 1. (izq.) Campo de reflectividad del radar RMA3 (Las Lomas, Formosa) para la elevación de antena de $0,5^\circ$ donde se observa una interferencia RLAN hacia el oeste-noroeste. (der.) Campo de reflectividad del radar ubicado en Anguil, La Pampa para la elevación de antena de 5° donde se observa una interferencia hacia el oeste-suroeste provocada por el Sol.

Múltiples esfuerzos son realizados por diferentes instituciones para eliminar todas las interferencias, desde la vigilancia del espectro [7] hasta el postprocesamiento a través de técnicas de control de calidad [8]. Este trabajo muestra los esfuerzos liderados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el camino hacia un trabajo colaborativo para obtener el mejor dato de radar posible en condiciones cada vez más adversas.

2 Mitigación de interferencias

2.1 Métodos de postprocesamiento

Comenzando en 2017 y con el conocimiento de que la potencia recibida de las interferencias es mayormente constante, se implementó un filtro sencillo que convierte todos los datos de reflectividad a potencia recibida utilizando una relación logarítmica, se aplica un umbral de potencia mínima a todos los datos y se reconvierte a reflectividad. Esto tiene la ventaja, a diferencia de usar un filtro sobre la reflectividad, que retiene los valores de reflectividad más altos a distancias más lejanas. Sin embargo, los valores relativamente bajos de los bordes de las tormentas y los ecos de tormentas en desarrollo pueden caer por debajo del umbral elegido para maximizar la eliminación de interferencias. La principal ventaja de este filtro es su bajo costo computacional y, por ende, la capacidad de ser integrado en los procesos operativos que generan las imágenes que se distribuyen al público en la página web del SMN.

Esta metodología fue refinada dentro del sistema de control de calidad operacional descrito en [8] que, al mismo tiempo, incluye filtros para otros tipos de ecos no meteorológicos y correcciones sobre los ecos meteorológicos (por ejemplo, corrección de atenuación). Esto redundaba en un tiempo de cómputo más elevado que en el filtro anterior. La técnica empleada para las interferencias RLAN utiliza un método de radial por radial que es similar al filtrado en potencia pero aplica un método iterativo conocido como RANSAC que remueve valores atípicos (“outliers” en inglés) mientras realiza un ajuste lineal. Al clasificar a los ecos meteorológicos como *outliers* en este ajuste, los datos que están alcanzados por la recta del ajuste extendida en 7 dBZ son eliminados. La Figura 2 ilustra la efectividad de este método en un radial mientras que en la Figura 3 se muestra un compuesto de radares sin control de calidad y con control de calidad donde se aprecia la efectividad de un control bien aplicado.

Teniendo el conocimiento de algunos años con los datos de radar contaminados, en [9] creamos un mapa estático de ecos no meteorológicos. Esto involucró en un primer paso la discriminación de volúmenes de radar con y sin precipitación para luego generar una reflectividad promedio pixel a pixel utilizando dos años de datos. Aplicando un umbral a la frecuencia de reflectividad la máscara identifica efectivamente los ecos persistentes en el tiempo, tanto los de terreno cercanos al radar como las interferencias a distancias más largas. Esta máscara fue integrada al proceso definido en [8] donde se genera un índice de calidad para todos los píxeles del volumen que está basado en la metodología descrita en [2]. En este caso, cuando la interferencia se detecta dentro de ecos meteorológicos se realiza

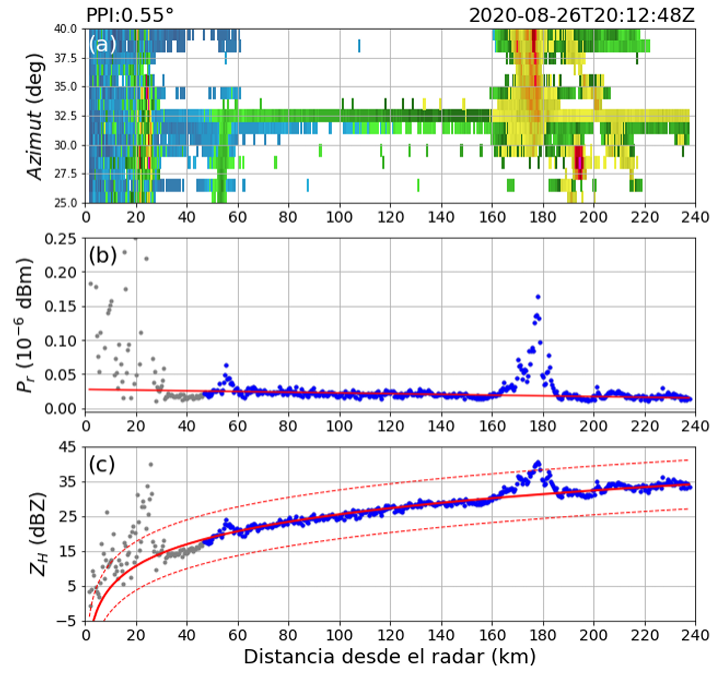


Fig. 2. Datos de reflectividad para el escaneo PPI más bajo en un volumen operacional. En el panel (a) una interferencia aparece como una línea completa de datos centrada en $32,5^\circ$ de azimut. (b) Potencia recibida convertida desde los datos de reflectividad para el radial seleccionado en (a); la interferencia se muestra con potencia constante y es ajustada con un modelo lineal en rojo. (c) Reflectividad y ajuste lineal convertidos desde (b) con un umbral de 7 dBZ marcado con líneas punteadas

una interpolación utilizando radiales adyacentes para reconstruir la información interferida.

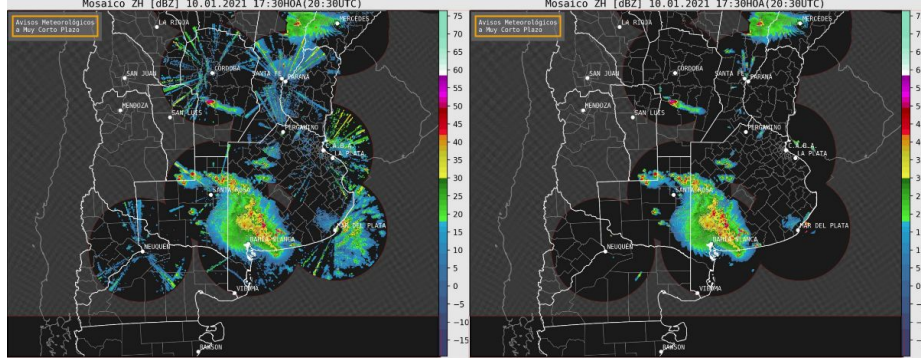


Fig. 3. Compuesto de reflectividad realizado con datos sin control de calidad (izq.) y con datos procesados (der.). Se observa una disminución significativa de las interferencias RLAN así como de otros ecos no meteorológicos.

2.2 Monitoreo de los dispositivos inalámbricos

Más recientemente, se probó la habilidad de los dispositivos inalámbricos a cambiar o anular canales de transmisión específicos usando un sistema dinámico de selección de frecuencias (DFS por sus siglas en inglés) [7]. Usando configuraciones reconocidas internacionalmente dictadas tanto por la Comisión Federal de Comunicaciones estadounidense (FCC) y el Instituto de Estándares de Telecomunicación europeo (ETSI) se planeó un experimento para uno de los radares que se encuentra con la mayor cantidad de interferencias. Al ser el radar que cubre el conglomerado urbano más grande del país, el experimento se realizó en un día libre de nubosidad donde primero se utilizó el radar en modo escucha (o sea, sin utilizar el transmisor) para conseguir un campo únicamente con interferencias. Luego se transmitió una serie de pulsos que debieran activar el sistema DFS en los dispositivos inalámbricos para luego confirmar con datos en modo escucha si existió algún cambio. Este experimento se repitió 3 veces consecutivas usando diferentes configuraciones y mostró que, si bien a lo largo del mismo algunas interferencias desaparecieron, estas volvieron poco después de finalizar. La Figura 4 muestra el campo de reflectividad inmediatamente antes de iniciar el experimento y algunos minutos después de finalizar donde no se observan cambios significativos entre las imágenes. Esto sugiere que algunos patrones y configuraciones habilitan el DFS pero que es necesario identificar con más precisión cuáles y, eventualmente, incorporarlos en el escaneo operativo para garantizar que se minimicen las interferencias.

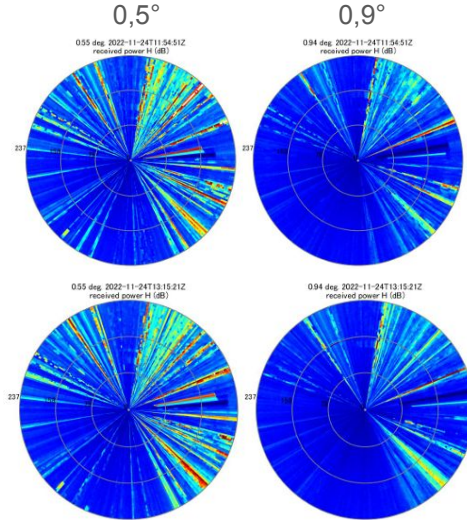


Fig. 4. Barridos en la elevación más baja (columna izquierda) y en la siguiente (columna derecha) antes (fila arriba) y después (fila abajo) de la realización del experimento de sensibilidad de los dispositivos inalámbricos al DFS.

2.3 Perspectivas a futuro y trabajos innovadores

Desde el SMN se están analizando técnicas avanzadas de procesamiento de señal en los datos de nivel 1 que fueron desarrolladas por el fabricante de los radares, INVAP S.E. La versión inicial de este sistema de procesamiento se encuentra implementada en todos los radares fabricados por la compañía lo que le permite al SMN distribuir imágenes más limpias, y por lo tanto más sencillas de interpretar, al público. Este trabajo requiere un análisis mucho más profundo debido a que, si bien la reflectividad es más permisiva a la eliminación de datos, las variables Doppler y polarimétricas son más sensibles y los valores pueden no reflejar lo observado inicialmente en los ecos meteorológicos.

Al mismo tiempo, en [10] se aplicaron técnicas de inteligencia artificial para segmentar imágenes de radar y clasificarlas como ecos meteorológicos y no-meteorológicos. En este caso se trabajó con datos de la red de radares operacionales de Estados Unidos que cuentan con una identificación de los ecos en diferentes categorías (por ejemplo, lluvia o granizo para las variables meteorológicas y eco de terreno o biológico para las no meteorológicas) lo que permite usarla como parámetro de aprendizaje. Los resultados preliminares muestran que estas técnicas son eficientes para remover los ecos no meteorológicos y que es necesario, para lograr una mejor segmentación, ampliar la base de datos.

3 Conclusiones

Las interferencias electromagnéticas son una amenaza constante y creciente en los radares meteorológicos desde, por lo menos, una década. Diversos esfuerzos fueron llevados a cabo por distintas instituciones para lograr una mejora tanto en la disminución en la cantidad y potencia como en la eliminación a posteriori. Todos estos métodos involucran, en cierto punto, la eliminación de datos que potencialmente son válidos. Por este motivo existe un permanente compromiso entre la necesidad de conservar datos y la agresividad de los filtros. Las herramientas y algoritmos mostrados en el presente trabajo son eficientes para trabajar sobre la reflectividad horizontal aunque queda un fuerte trabajo en combinar las múltiples variables del radar para maximizar dicha eficiencia.

References

1. E. Saltikoff, J. Y. N. Cho, P. Tristant, A. Huuskonen, L. Allmon, R. Cook, E. Becker, and P. Joe, "The threat to weather radars by wireless technology," *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 97, no. 7, pp. 1159–1167, Jul. 2016.
2. A. Jurczyk, J. Szturc, I. Otop, K. Ośródk, and P. Struzik, "Quality-Based Combination of Multi-Source Precipitation Data," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 11, p. 1709, May 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/rs12111709>.
3. Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM), Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias de la República Argentina (CABFRA), https://www.enacom.gob.ar/cuadro-de-atribucion-de-bandas-de-frecuencias-de-la-republica-argentina-cabfra_-p1588.
4. A. Rodríguez et al., "SiNaRaMe: El Primer Sistema Integrado de Radares Hidro-Meteorológicos de Latinoamérica," *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 4, no. 1, pp. 41–41, Mar. 2017. Disponible: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/14614>.
5. M. Rugna, L. Vidal, and R. de Elía, "Verificación de la orientación de la antena de los radares meteorológicos de INTA utilizando la radiación solar," *El Abrigo*, Mar. 2017. Disponible: <https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/382>.
6. I. Holleman, A. Huuskonen, M. Kurri, and H. Beekhuis, "Operational Monitoring of Weather Radar Receiving Chain Using the Sun," *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 27, no. 1, pp. 159–166, Jan. 2010, doi: <https://doi.org/10.1175/2009jtecha1213.1>.
7. D. Kitahara et al., "Experiments on WLAN Interference Reduction by Dynamic Frequency Selection in C-Band Weather Radars," *AMS - 40th Conference on Radar Meteorology*, Aug. 23, 2023. <https://ams.confex.com/ams/40RADAR/meetingapp.cgi/Paper/426025>.
8. A. Arruti, P. Maldonado, M. Rugna, M. Sacco, J. J. Ruiz, and L. Vidal, "Sistema de Control de Calidad de Datos de Radar en el Servicio Meteorológico Nacional. Parte I: Descripción del algoritmo," *El Abrigo*, Mar. 2021. Disponible: <https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1537>.
9. D. Giménez, L. Vidal, M. Rugna, R. de Elía, and L. Giordano, "Climatología de ecos no meteorológicos de la red de radares SINARAME," *El Abrigo*, Sep. 2021. Disponible: <https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1685>.

10. P. Dunayevich, F. Cutraro, M. Rugna, M. Sacco y L. Vidal, "Clasificación de imágenes de radar usando una red neuronal convolucional". El Abrigo, Jun. 2024.
Disponible: <https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/2792>.