

EVALUACION DE LA INFORMACION HISTORICA DE RADARES METEOROLOGICOS EN ARGENTINA

Laura Pappalardo^{1,3}, Paola Salio^{2,3,4}, Luciano Vidal¹
lpappalardo86@gmail.com

¹Servicio Meteorológico Nacional

²Centro de Investigaciones del Mar y la Atmosfera CIMA - CONICET, FCEyN, UBA.

³Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, UBA.

⁴UMI-IFAECI 3351-CNRS-CONICET-UBA

RESUMEN

La utilización de imágenes de radar resulta de gran importancia para el monitoreo y diagnóstico de eventos severos ya que permite diferenciar entre áreas con precipitación estratiforme y convectiva, además de poder detectar regiones con presencia de granizo. Para ello es necesario contar con periódicos controles de calidad que permitan contar con datos confiables útiles para las diferentes aplicaciones. En esa línea, el presente trabajo busca avanzar en el diagnóstico de los radares en Argentina y para ello se realiza un análisis de los radares ubicados en Ezeiza, Paraná y Pergamino utilizando datos de disdrómetros y del radar a bordo del satélite TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission). Los resultados muestran para el radar de Paraná dos períodos con comportamientos diferentes. Durante el primero, desde el 27 de mayo de 2009 hasta el 16 de julio 2011, el radar sobreestimaba la reflectividad real, mientras que en el segundo período, desde el 24 de octubre de 2011 hasta el 18 de mayo de 2013, el comportamiento resulta opuesto. Por su parte el radar de Pergamino siempre subestima la reflectividad real para todo el periodo analizado, mientras que el radar de Ezeiza también presenta, al igual que Paraná, dos períodos con comportamientos diferentes. El primero desde el 10 de febrero de 2009 hasta el 1 de marzo de 2012, mientras que el segundo es entre el 13 de Marzo de 2012 y el 29 de Octubre de 2012. La información de los radares de Paraná y Ezeiza también es analizada utilizando datos de disdrómetros, encontrando resultados análogos a los hallados mediante la metodología con TRMM. Finalmente se calculan curvas de calibración, para cada período y radar, que son utilizadas a posteriori para llevar a cabo una corrección de la reflectividad.

ABSTRACT

The use of radar images is of great importance for monitoring and diagnosis of severe events, allowing to distinguish between areas with stratiform and convective precipitation, in addition able to detect regions with presence of hail. This requires having regular quality analysis that allows reliable data useful for different applications. On that line, this paper seeks to advance in the diagnosis of radars in Argentina and, for this, an analysis of radars located in Ezeiza, Paraná and Pergamino is performed using data of disdrometres and of the radar on board the satellite TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission). The results for the radar of Parana present two periods with different behaviors. During the first, from 27 May 2009 until 16 July 2011, the radar overestimated the actual reflectivity, while in the second period, from 24 October 2011 until 18 May 2013, the behavior is opposite. Meanwhile Pergamino radar always underestimates the actual reflectivity for the entire period analyzed, whereas the Ezeiza radar also has, like Paraná, two periods with different behaviors. The first since 10 February 2009 until 1 March 2012, while the second is between 13 March 2012 and 29

October 2012. Information of Paraná and Ezeiza radars are also analyzed using data from disdrometres, finding similar results to those achieved with TRMM methodology. Finally, calibration curves are found, for each period and radar, which are used to perform a correction of the reflectivity.

Palabras claves: radar meteorológico, reflectividad, calibración, disdrómetro, satélite TRMM

1) INTRODUCCIÓN

La utilización de imágenes de radar resulta de gran importancia, especialmente para el pronóstico de eventos severos, ya que permite diferenciar entre áreas con precipitación estratiforme y convectiva, además de poder detectar regiones con presencia de granizo. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en el año 1998 incorpora su primer radar meteorológico y se lo instala en cercanías del Aeropuerto Internacional de Ezeiza (Buenos Aires). Luego, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) instaló tres radares más ubicados en Pergamino (Buenos Aires), Paraná (Entre Ríos) y Angüil (La Pampa). No obstante, desde que los radares funcionan en forma operativa no se han realizado evaluaciones constantes y sistemáticas a fin de minimizar los errores y cuantificar las posibles diferencias. Es por ello que resulta sumamente importante avanzar en las investigaciones asociadas a la utilización de la información proveniente de los radares meteorológicos y el control de calidad de los datos, a fin de homogeneizar las redes actualmente disponibles.

Varias son las metodologías propuestas a lo largo de los años en diferentes partes del mundo en relación con el análisis de la calidad de la información obtenida por los radares meteorológicos. Una de las más utilizadas es aquella que se basa en comparar la reflectividad del radar con aquella derivada de la distribución de densidad de tamaño de gotas (o DSD, por las siglas en inglés), obtenida a partir de disdrómetros. Lee y Zawadzky (2005) utilizan la DSD para poder estimar la relación Z-R y así poder compararla con la relación climatológica que utiliza el radar para estimar la precipitación, con el objetivo de poder analizar diferencias entre ambas. En particular, los autores analizan también la utilización de un filtro para la información de disdrómetro. De manera análoga, Campos y otros (2006) analizan el comportamiento de distintas variables, como la reflectividad, la tasa de precipitación y el contenido de agua líquida a partir de la distribución de gotas medida con disdrómetros durante un verano en Costa Rica

Otra forma de estudiar la calidad de la información de radar es mediante la comparación con la reflectividad obtenida por el sensor PR (Precipitation Radar), uno de los principales sensores a bordo del satélite TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) relacionados con el estudio de la convección (Kummerow y otros, 1998). Este instrumento provee medidas muy valiosas respecto de la intensidad y distribución de la precipitación, tipo de precipitación, profundidad de la convección y altura, y nivel donde se ubica la zona de fusión o banda brillante, entre otros parámetros. Anagnostou y otros (2001) llevan a cabo esta comparación interpolando la grilla del radar de superficie y el sensor TRMM-PR a una grilla cartesiana tridimensional de 5km de resolución horizontal y 2 km de resolución vertical.

El principal objetivo de este trabajo es analizar la posible implementación de las dos metodologías mencionadas para monitorear en forma continua la calidad de la reflectividad de los radares meteorológicos disponibles en el área central del país utilizando información de disdrómetros instalados en diversos puntos de la región bajo la cobertura del radar e información obtenida por el sensor PR.

El presente trabajo se organiza como sigue. Una descripción de los datos utilizados y la metodología aplicada en la comparación de la información de radar y los sensores seleccionados se presenta en la sección 2. En la sección 3 se discuten los resultados encontrados con la comparación a partir de la utilización del sensor TRMM-PR, mientras que en la sección 4 se describen los resultados que se hallan al validar con la información de disdrómetro disponible. Por último, en la sección 5 se presentan las conclusiones.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el presente trabajo se cuenta con una base de datos de los radares ubicados en Paraná, Pergamino y Ezeiza (figura 1). El período disponible de información para cada uno de ellos se puede encontrar en la tabla I. Todos estos radares trabajan en banda C. La variable utilizada es la reflectividad horizontal que posee una resolución en rango de 0,5 km, azimutal de 1°, vertical de 16 elevaciones y temporal de 10 minutos.

También se dispone de datos del sensor TRMM-PR durante un período de tiempo coincidente con la información disponible de radar. El mismo posee una resolución horizontal de 5 km y vertical de 250 m, desde superficie hasta 15 km de altura, con un ancho de pasada de 215 km. Las características de la órbita hacen que la tasa de muestreo varíe de 1 vez cada 2 días en el Ecuador a cerca de 2 veces al día en 35° de latitud norte y sur, esto implica que solo se pueda realizar una o dos comparaciones por evento y solo para un tiempo en particular.

A partir de los datos tomados por el sensor PR, diversos algoritmos de calibración y cálculo de parámetros han sido desarrollados por el equipo de investigación relacionado con TRMM. En este trabajo, para poder comparar y analizar los datos de los radares de superficie se utilizan los subproductos de los grupos 2A25 y 2A23. Del primero se utilizan los perfiles verticales de reflectividad (Z), con corrección de la atenuación producida por la precipitación, para cada haz del radar, combinando los métodos de Hitschfeld-Bordan y referencia de superficie (Iguchi y otros, 2000). Esta atenuación resulta importante ya que, como el sensor observa desde arriba el sistema precipitante, los datos más cercanos a superficie son los que más error tendrán. Sin embargo, debido a que los datos, como se mencionó, poseen una corrección por esta atenuación, en este trabajo se considera que este error es despreciable y podrán ser utilizados para calibrar la información de los radares de superficie. El valor mínimo detectable de reflectividad por parte del sensor PR se ubica alrededor de 17 dBZ, por lo que solo se consideran datos de reflectividad que superan este valor. El segundo algoritmo utilizado, 2A23, dispone del subproducto que clasifica la precipitación en estratiforme y convectiva. Esta discretización la realiza considerando el perfil vertical de la

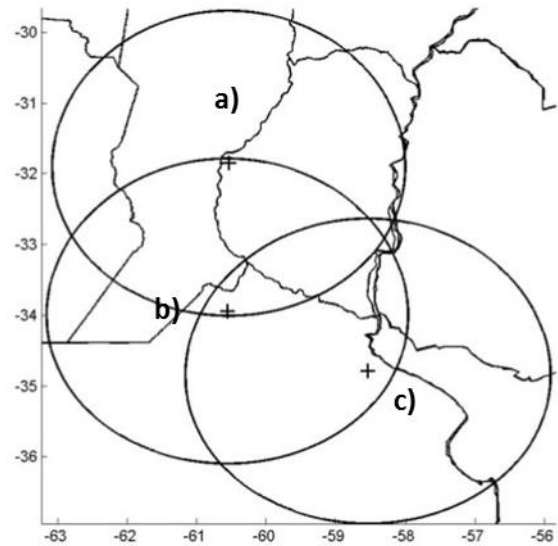


Figura 1: Ubicación de los radares argentinos y su área de cobertura, a) Paraná, b) Pergamino y c) Ezeiza.

Radar	Fecha Inicio	Fecha Final
Ezeiza	2009-01-01	2013-06-02
Pergamino	2009-03-31	2013-06-02
Paraná	2009-04-18	2013-06-02

Tabla 1: Fechas iniciales y finales de la disponibilidad de datos de cada radar.

reflectividad, la presencia o no de la banda brillante y la altura de la banda brillante, analizando los ecos de lluvia (Awaka y otros, 1997) y la ubicación de la isoterma de 0°C. Los casos en los que la clasificación no es clara se los denomina “otros”.

Por lo tanto, para realizar la comparación entre el radar de superficie y el sensor TRMM-PR, primero se realizan cortes CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) a partir de la información de los radares de superficie, con la misma resolución horizontal y vertical del sensor TRMM-PR, y luego se emplea una interpolación lineal a la retícula cuadrada del sensor de TRMM-PR, para cada altura determinada. Esta metodología se muestra en la figura 2.

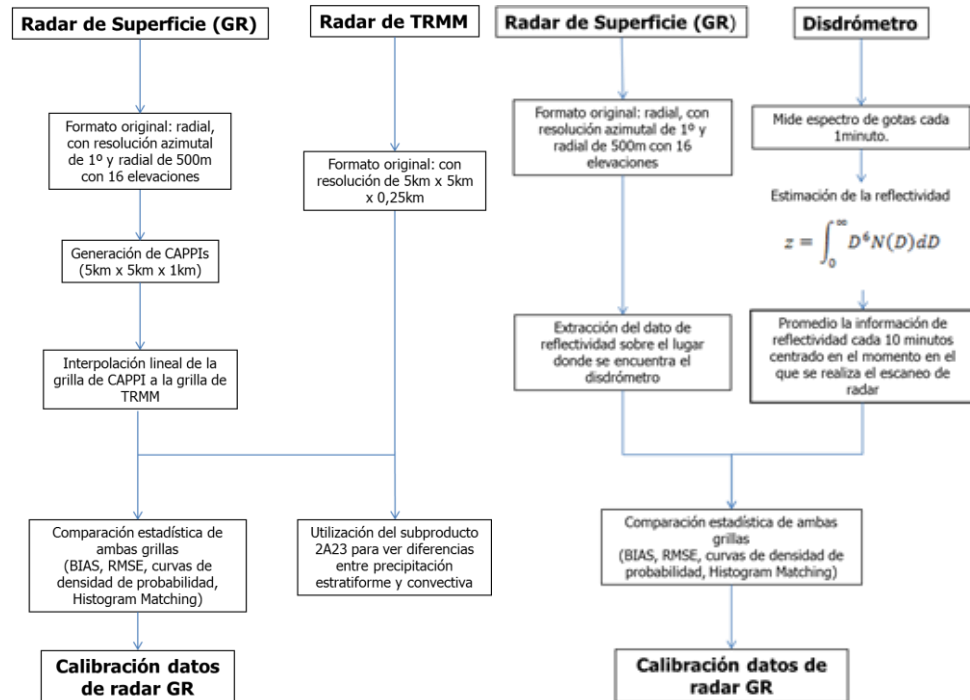


Figura 2: Izquierda: Diagrama de flujo donde se muestran los pasos intermedios llevados a cabo para la calibración de la reflectividad de los radares de superficie a partir de la utilización de la información de TRMM-PR. Derecha: Ídem metodología a partir de la información de los disdrómetros.

Para llevar a cabo la metodología de calibración con la información de disdrómetro se cuenta con tres campañas distintas de medición:

- Castelar: ubicado en 34,61°S; 58,67°O con datos desde el 28 de octubre de 2009 hasta el 26 de enero de 2010.
- Diamante: ubicado en 32,06°S; 60,64°O con datos desde el 2 de noviembre de 2009 hasta el 22 de enero de 2010.
- Ciudad Universitaria: ubicado en 34,54°S; 68,44°O con datos desde el 1 de noviembre de 2011 hasta 6 de junio de 2013.

Cabe aclarar que los disdrómetros utilizados en las primeras dos campañas son de marca Thies, mientras que el utilizado en Ciudad Universitaria es de la marca Parsivel y posee una resolución mayor. A partir del espectro de gotas obtenido se pueden estimar algunas variables como la tasa de precipitación (R) y reflectividad (Z) mediante las ecuaciones:

$$z = \int_0^{\infty} D^6 N(D) dD \quad (1)$$

Tanto Thies como Parsivel recolectan información acumulada cada un minuto, por lo que para poder compararlo con la información de radar se hicieron promedios temporales de las mediciones con una ventana de 10 minutos, centrada en el tiempo en el que se realiza el barrido del radar. Para realizar la comparación con la información del radar de superficie se realiza un promedio de los datos de disdrómetro, centrado en el momento en el que el radar lleva a cabo el escaneo. Luego se extrae el valor de reflectividad del volumen del radar del pixel que se corresponde al punto más cercano a la ubicación del disdrómetro. Un diagrama de flujo de la metodología se presenta en la figura 2.

Por otro lado, con el objetivo de eliminar posibles mediciones erróneas, como por ejemplo plantas o insectos que pasen a través de los sensores, se aplicó un filtro por velocidad, como el utilizado en Friedrich y otros (2013). El mismo elimina las gotas cuyas velocidades, medidas por el disdrómetro, difieren de la velocidad de caída teórica en más del 60% evitando de este modo principalmente los problemas asociados con el viento transversal.

3) CALIBRACIÓN CON TRMM

Para llevar a cabo la comparación con el sensor TRMM-PR se buscan, en el período disponible, eventos de precipitación en los que ambos instrumentos miden y se los compara punto a punto, luego de interpolar la información a una grilla común. Para el caso de Ezeiza se encuentran 87 eventos, para Paraná 37, mientras que en el caso de Pergamino los eventos hallados son 108. Como un primer análisis se observa la variación del error entre los instrumentos a lo largo del tiempo. Para ello se calcula el BIAS para cada evento comparando los campos a 5 km de altura, lo que se muestra en la figura 3.

Resulta evidente, tanto para el caso de Paraná como para Ezeiza, cambios importantes en el comportamiento a lo largo del tiempo. En el caso de Ezeiza se encuentran tres períodos distintos: el primero, el cual sólo incluye cuatro eventos, que ocurren durante enero de 2009, muestran un error inferior a +5 dBZ. Entre el 10 de febrero de 2009 y el 1 de marzo de 2012 se encuentra el segundo período, que muestra un error notoriamente mayor de aproximadamente +10 dBZ. Por último, desde el 13 de marzo de 2012 y hasta el 28 de mayo de 2013, se observa una disminución en el error medio alcanzando un valor de +5 dBZ. Para el caso de Pergamino si bien tiene muchas fluctuaciones, no se observan cambios importantes como para los casos anteriores, encontrándose un error medio de +7 dBZ. Por último, para el radar de Paraná se pueden determinar un primer período que se extiende desde el 27 de mayo de 2009 hasta el 16 de julio de 2011 donde los valores de BIAS son negativos, lo cual implica que los valores de reflectividad que

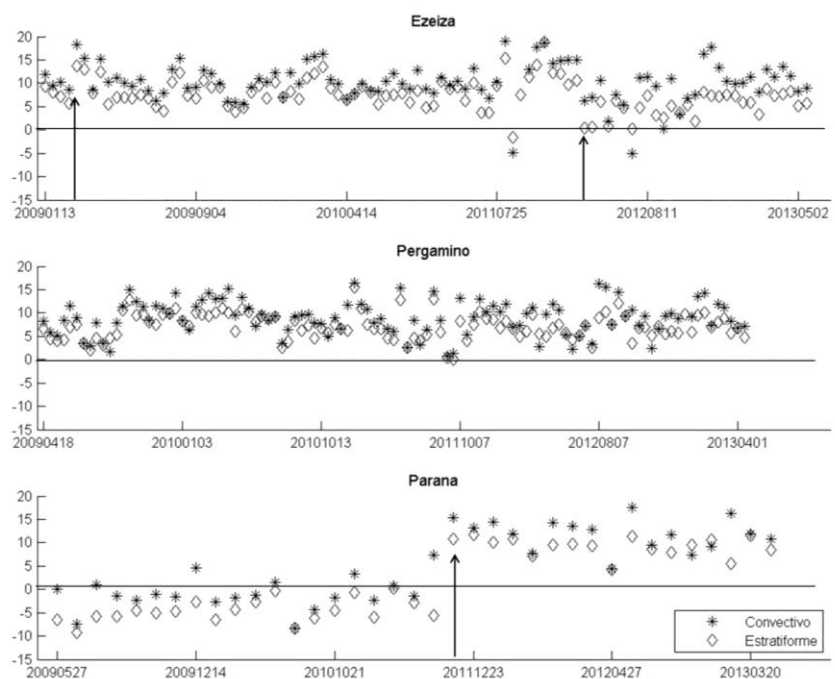


Figura 3: Evolución temporal de BIAS para los radares de Ezeiza, Pergamino y Paraná. Las flechas negras indican el fin o principio de un período.

mide el radar de superficie son mayores que los obtenidos con TRMM-PR, indicando que sobreestima la reflectividad real; mientras que desde el 24 de octubre de 2011 y hasta el 18 de mayo de 2013 se encuentra un comportamiento completamente opuesto, es decir, la información obtenida por el radar de Paraná subestima la reflectividad considerada como real. Este cambio coincide con la época en la que se realizó una calibración electrónica del radar, luego de haber analizado los datos de disdrómetro en un trabajo previo realizado por Luciano Vidal.

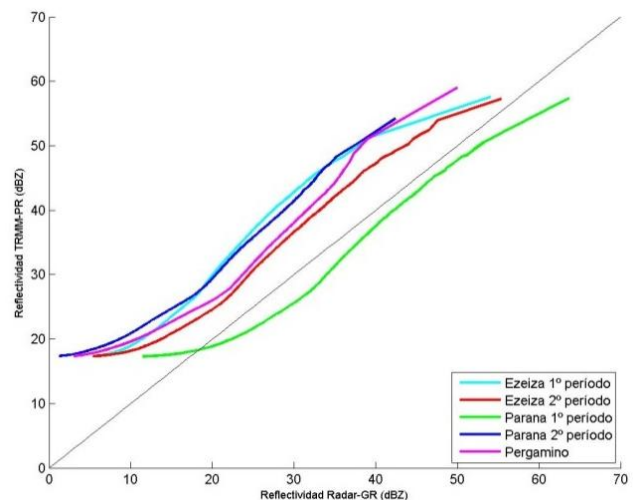


Figura 4: Curvas de calibración obtenidas a partir de la técnica Histogram Matching para los tres radares en los períodos considerados.

Por su parte, los errores en los casos convectivos son levemente menores que para los casos estratiformes para el primer período, mientras que para el segundo se observa lo contrario. Esto es coherente debido a que el radar al ser banda C sufre una atenuación importante en los casos en que la precipitación es intensa. Por lo que durante el primer período, en el que se determinó que el radar de superficie sobreestima al satélite, la atenuación del radar compensa este hecho, lo que resulta en que el error medio entre ambos sea menor que para el caso estratiforme. Análogamente, para el segundo período, en el que se determinó que el radar subestima, el error para el caso convectivo será mayor que para el caso estratiforme, debido a que los dos factores se suman.

Al encontrar distintos períodos de comportamientos, se busca para cada uno, una curva de calibración distinta. Las mismas se calculan realizando un Histogram Matching (Hamill, 1999) y las mismas se muestran en la figura 4.

Por último, con el objetivo de analizar el desempeño de la metodología, se utilizan las curvas obtenidas para llevar a cabo la calibración de los datos de los radares. Para realizar esta validación, se buscan casos en los que se detecte precipitación en los radares y por TRMM, en un período de tiempo fuera del que se utilizó para el análisis, encontrándose tres casos:

- 14 de junio de 2013 para el radar de Paraná
- 07 de septiembre de 2013 para el radar de Pergamino
- 22 de septiembre de 2013 para el radar de Paraná

Para todos los casos, se calibra la imagen de radar utilizando las curvas obtenidas anteriormente y luego se calcula el BIAS y RMSE entre la imagen calibrada y sin calibrar con la de TRMM-PR. En la tabla II se muestran los valores hallados para cada evento, observándose una importante disminución en los errores. Esto implica que, para los radares de Paraná y Pergamino, las curvas de calibración resultan confiables para calibrar la información que se utilizará en el próximo capítulo para identificar y estudiar los eventos HP. Sin embargo, cabe recordar en este punto que los valores de reflectividad inferiores a 17 dBZ fueron

Evento	BIAS	BIAS Calibrado	RMSE	RMSE Calibrado
14 Junio 2013	13,61	1,88	14,89	6,04
07 Septiembre 2013	7,06	-3,71	7,76	4,95
22 Septiembre 2013	7,85	-0,17	10,69	6,3

Tabla II: Resultados de la validación, se muestran el BIAS y RMSE entre la información de TRMM-PR y radar original y calibrada.

descartados debido a que la comparación con TRMM-PR solo es posible para valores superiores a este umbral.

4) CALIBRACIÓN CON DISDRÓMETRO

Como se mencionó en la sección 2, para la aplicación de la metodología con disdrómetro se cuenta con tres campañas de medición: una realizada en la ciudad de Diamante (Entre Ríos) con el que se estudia el radar ubicado en Paraná, y otras dos campañas, una en la ciudad de Castelar y otra en Ciudad Universitaria con las que se analiza el radar ubicado en Ezeiza.

Para el radar de Paraná, la información de disdrómetro que se utiliza es la obtenida en una campaña realizada en la localidad de Diamante entre el 2 de noviembre de 2009 y el 22 de enero de 2010, que coincide con el período en el que se determinó, con la metodología con TRMM-PR, que el radar sobreestima la información (entre el 27 de mayo de 2009 y el 16 de julio de 2011). Esto se puede observar claramente en la figura 5, en la cual se muestra la reflectividad medida por el radar sobre la ubicación del disdrómetro en función de la reflectividad calculada a partir de la información del disdrómetro. Con el objetivo de encontrar diferencias entre el tipo de precipitación, se separan los casos en estratiforme, convectivo y casos sin clasificar, como se explicó en la sección anterior. Se puede ver que el error es mayor para los casos estratiformes, que confirma lo encontrado con la metodología anterior.

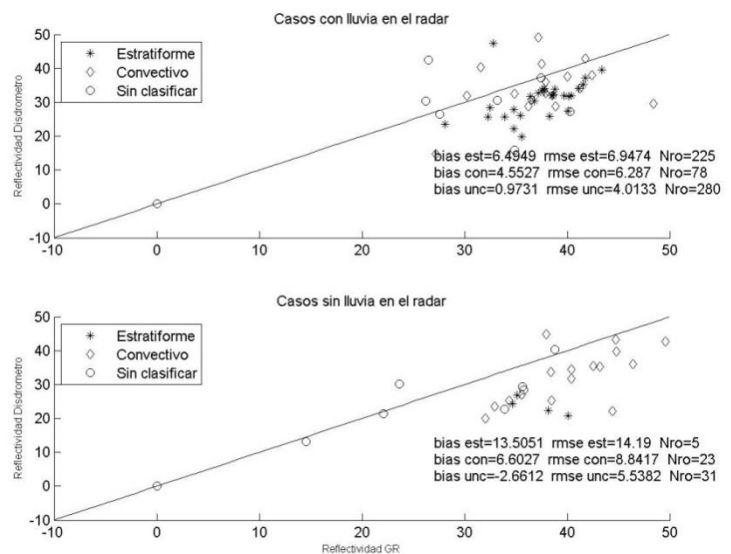


Figura 5: Reflectividad estimada con el disdrómetro Thies ubicado en Diamante en función de la reflectividad detectada por el radar de Paraná para la ubicación del disdrómetro, para los casos en los que precipita sobre el radar (arriba) y casos en los que no precipita (abajo).

Al analizar el efecto de la precipitación sobre el radar se observa que los errores aumentan en los casos en los que está precipitando sobre el radar, lo que resulta coherente ya que la atenuación por la lluvia compensa la sobreestimación del radar, que es un razonamiento análogo al que se tuvo al comparar los tipos de precipitación, las diferencias entre un caso y otro resultan menores que al diferenciar entre los tipos de precipitación. Por lo que se puede concluir que el tipo de precipitación es más importante en comparación con el efecto asociado a la atenuación por radar mojado.

En el caso del radar de Ezeiza se cuenta con dos campañas de mediciones con disdrómetro tal como se describió en la sección 2. La primera campaña, que se realizó en Castelar, entre el 28 de octubre de 2009 y el 26 de enero de 2010, coincide con el primer período analizado con la metodología de TRMM-PR entre el 10 de febrero de 2009 y el 1 de marzo de 2012. Mientras que la segunda campaña realizada en Ciudad Universitaria (CU) entre el 1 de noviembre de 2011 y el 2 de junio de 2013, se corresponde con parte del primer y segundo período (entre el 13 de marzo de 2012 y el 29 de octubre de 2012) analizado con TRMM-PR. Cabe aclarar que esta última campaña de disdrómetro también incluye el último período encontrado entre el 2 de febrero de 2013 y el 26 de marzo de 2013, pero en

este caso los datos no fueron descartados, como en la metodología anterior, debido a la escasez de puntos en común para realizar la comparación.

La figura 6 muestra la reflectividad del radar de Ezeiza en función de la reflectividad calculada a partir del disdrómetro en (a) Castelar y (b) CU. En ambos casos se observa el mismo comportamiento que el hallado con la metodología anterior, encontrándose que el radar de Ezeiza subestima la reflectividad real. Durante la primer campaña, que coincide con el primer período analizado con la metodología anterior, se observa un BIAS de aproximadamente +11 dBZ, el cual es el doble que el error encontrado con TRMM-PR. Por otro lado, en la segunda campaña de disdrómetro, la cual coincide con el segundo período analizado por TRMM-PR, se observa una clara disminución en los valores de BIAS, alcanzando un valor de +3 dBZ. Este resultado es coherente con el valor encontrado con la metodología de TRMM-PR.

Al analizar las diferencias teniendo en cuenta el tipo de precipitación se vuelve a observar que la precipitación convectiva tiene asociada errores mayores en comparación con la estratiforme. Para el primer período el error asociado a los eventos estratiformes es de +11 dBZ y de +13 dBZ para los convectivos, mientras que para la segunda campaña el error para los eventos estratiformes es de +3 dBZ y para los convectivos de +4 dBZ. Comparando los casos con o sin lluvia sobre el radar, no se observan diferencias importantes para ninguna de las campañas.

5) CONCLUSIONES

La información de los radares ubicados en Ezeiza, Paraná y Pergamino fueron calibrados utilizando información de obtenida a partir del sensor TRMM-PR para el período 13 de enero de 2009 hasta el 2 de junio de 2013. A partir de la comparación entre radares surgen las curvas de calibración que fueron utilizadas para corregir las imágenes de radar, que se muestran en la figura 3.

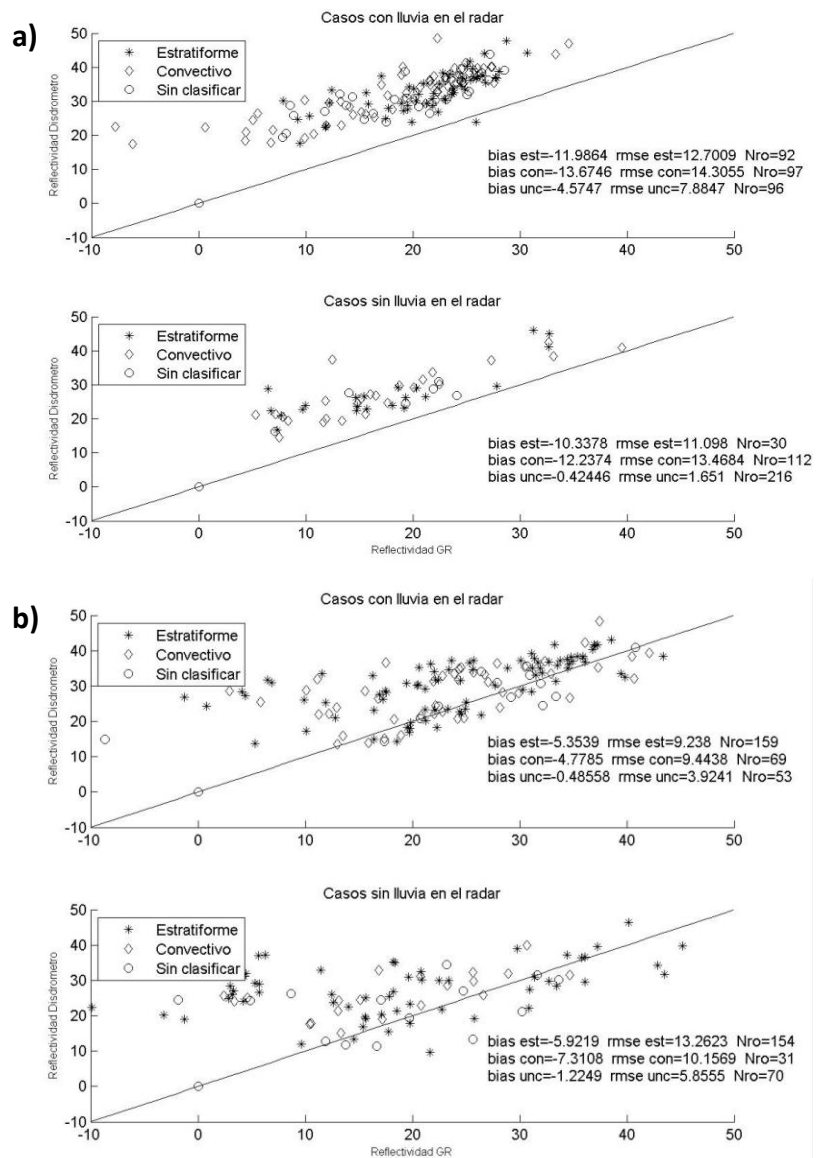


Figura 6: a) Reflectividad estimada con el disdrómetro Thies ubicado en Castelar en función de la reflectividad detectada por el radar de Ezeiza para la ubicación del disdrómetro, separando en casos en los que llueve sobre el radar (arriba) y casos en los que no llueve (abajo). b) Ídem a) pero para el disdrómetro ubicado en Ciudad Universitaria.

La información de los radares de Paraná y Ezeiza también fue analizada utilizando datos de disdrómetros. Para ello se cuenta con tres campañas de medición, sin embargo, debido a la escasa información para comparar con los radares, esta metodología se utilizó solamente para confirmar los resultados obtenidos con la comparación con TRMM-PR. Es por este hecho que las curvas de calibración con las que se calibró la información de los radares se obtuvieron a partir de la comparación con el sensor TRMM-PR.

		TRMM-PR		Disdrómetro	
		Estratiforme	Convectiva	Estratiforme	Convectiva
Paraná	2009-05-27 2011-07-16	-6	-2	-7	-5
	2011-10-24 2013-05-18	7	11	X	X
Pergamino	2009-04-19 2013-05-28	8	10	X	X
Ezeiza	2009-02-10 2012-03-01	6	10	13	14
	2012-03-13 2012-10-29	2	8	6	7

Tabla III: Resumen de los factores de error para cada radar con cada metodología.

En la tabla III se muestran los BIAS medios obtenidos mediante las dos metodologías, y se puede ver que no hay diferencias importantes entre ambas metodologías, sin embargo hay

comportamientos destacables. Se observa que los errores medios hallados con las dos metodologías difieren más entre sí para las campañas que utilizan el disdrómetro Thies, mientras que con el disdrómetro Parsivel la diferencia es menor. Esto se debe a que este último tiene una precisión mayor. Otra conclusión importante a la que se llega al comparar los errores encontrados diferenciando en el tipo de precipitación y en si precipita o no sobre el radomo, se puede concluir que resulta más importante la influencia del tipo de precipitación en la variación del error que la atenuación de la señal de radar debido a la lluvia sobre el radomo, siendo mayor el error para la precipitación convectiva.

Para realizar la verificación de las curvas de calibración, se corrigió, a partir de dichas curvas, la información de los radares de Paraná y Pergamino para tres casos particulares fuera del período en el que se realizó la calibración. Para cada uno de los casos se calculó el BIAS y RMSE entre la información de TRMM-PR y la información de radar calibrada y original. Para los tres casos se encontró que el error disminuía hasta valores cercanos a cero al aplicar la calibración. Esta verificación no pudo realizarse con el radar de Ezeiza debido a que el análisis está fuertemente afectado por problemas que se detectaron en el funcionamiento del mismo, en particular, por la variación en las elevaciones entre cada escaneo y el desplazamiento de los haces del radar, por lo que los resultados encontrados pueden no ser confiables. Sin embargo, se utilizó de los datos de este radar con el objetivo de analizar las metodologías propuestas.

Diversos problemas fueron encontrados en relación a la información de radar disponible, siendo los mayores problemas con el radar ubicado en la ciudad de Ezeiza, encontrándose, principalmente, un desvío de la imagen en sentido azimutal y diferencias en las elevaciones en las que se realiza el escaneo, generando que los resultados obtenidos no resulten tan confiables, como en el caso de los radares ubicados en Pergamino y Paraná.

Hay que destacar que lo que se propuso en el presente trabajo es la implementación de metodologías que resulten útiles para analizar el estado de la información de radar, encontrándose principalmente que la metodología con el sensor TRMM-PR es adecuada para los radares de Paraná y Pergamino. En el caso de la metodología que utiliza disdrómetros también resulta útil, sin embargo, por el tipo de muestreo que genera, es necesaria una campaña de medición durante un periodo largo para poder generar una curva de calibración, como la que se obtuvo con la metodología de TRMM-PR. Además,

otro inconveniente de utilizar esta metodología es que, como el sensor tiene que ubicarse cerca del radar, solo podrían calibrarse las reflectividades cercanas al radar debido a que, por ser un radar en banda C, la distancia al radar es una fuente de error.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado una beca de estudiante para la primer autora y los proyectos PICT 2013 1299, UBACyT 2014-2017 20020130100618BA.

REFERENCIAS

Anagnostou E. N., C. A. Morales y T. Dinku, 2001: The use of TRMM precipitation radar observations in determining ground radar calibration biases. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 18, 616-628.

Awaka J., T. Iguchi, H. Kumagai y K. Okamoto, 1997: Rain type classification algorithm for TRMM precipitation radar. *Proceedings of the IEEE 1997 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, August 3-8, Singapore, pp. 1636-1638.

Campos E.F., I. Zawadzki, M. Petitdidier y W. Fernandez, 2006: Measurement of raindrop size distributions in tropical rain at Costa Rica. *J. of Hydrology*, 328, 98-109.

Friedrich K., E. A. Kalina, F. J. Masters, y C. R. Lopez, 2013: Drop-Size Distributions in Thunderstorms Measured by Optical Disdrometers during VORTEX2. *Mon. Wea. Rev.*, 141, 1182–1203.

Hamill T. M., 1999: Hypothesis Tests for Evaluating Numerical Precipitation Forecasts. *Wea. Forecasting*, 14, 155–167.

Iguchi T., T. Kozi, R. Meneghini, J. Awaka, y K. Okamoto, 2000: Rain-profiling algorithm for the TRMM precipitation radar, *J. Appl. Meteor.*, 39, 2038-2052.

Kummerow C., W. Barnes, T. Kozi, J. Shiue, y J. Simpson, 1998: The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 15, 809–817.

Lee G. y I. Zawadzki, 2006: Radar calibration by gage, disdrometer and polarimetry: theoretical limit caused by the variability of drop size distribution and application to fast scanning operational radar data. *J. of Hydrology*. 328, 83-97.