

Identificación de hidrometeoros y cuantificación de tasa de precipitación a partir del radar de doble polarización en Banda C de Córdoba

Iglesias Martín, Cordoba Pablo

Introducción

Desde las primeras generaciones de radares meteorológicos se ha tratado de poder identificar los distintos tipos de hidrometeoros que componen las distintas nubes precipitantes. Con la llegada de los radares de doble polarización se logró un importante avance en la estimación de la geometría de los hidrometeoros a partir de conocer la energía emitida en ambas polarizaciones -Horizontal y Vertical- por los sensores y su interacción con los distintos objetos en la atmósfera que retrodispersan parte de dicha energía hacia el radar, logrando así conocer distintas variables polarimétricas que se ven a continuación:

<u>Variables</u>	<u>Definición</u>
Reflectividad horizontal (Z_h)	Amplitud de la onda horizontal
Reflectividad diferencial (Z_{dr})	Diferencia de amplitudes de la onda horizontal y vertical
Diferencia de fase específica (K_{dp})	Mide la tasa de diferencia de fase (entre la onda horizontal y la vertical) en función del rango
Coefficiente de correlación (ρ_{HV})	Mide la correlación entre las amplitudes de la onda horizontal y vertical

Tabla 1: Variables polarimétricas (polarización dual)

Gracias a esto se generaron técnicas booleanas empíricas que clasifican las categorías de hidrometeoros basándose en dos o más variables polarimétricas. Sin embargo, en dichas técnicas se producía un problema importante de solapamiento entre categorías que conducía a una indeterminación de resultados por presentar límites estrictos. A partir de esto se comenzó a usar una técnica de lógica difusa (“fuzzy logic”) en los esquemas de identificación de hidrometeoros que permiten suavizar y solapar dichos límites reduciendo los errores en la clasificación.

La identificación de hidrometeoros usando lógica difusa permite la determinación de la microfísica dentro de un volumen de radar. Esta técnica es un proceso de múltiples pasos en los cuales las observaciones polarimétricas del radar son puntuadas (“scores”) en base a cuan bien se ajustan al conjunto de miembros de pesos β para un dado tipo de hidrometeoro. Uno de los trabajos que utilizó este esquema fue Dolan et al (2013), que comenzó analizando la retrodispersión de cada hidrometeoro a través de simulaciones adaptadas a la longitud de onda de operación de los radares de Banda C (5.5 cm) para determinar los rangos de variables polarimétricas y temperaturas que definen a cada uno de ellos.

La autora empleó un conjunto de funciones beta para calcular los puntajes (“scores”) que describen qué tan bien las observaciones caracterizan cada tipo de hidrometeoro. Las funciones beta, que son definidas por cada tipo de hidrometeoro, se calculan en

términos de un “ancho” a , “punto medio” m y una “pendiente” b de la siguiente forma:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - m}{a} \right)^2 \right]^b} \quad (1)$$

Donde x es el valor de los datos de observación (en la variable de interés: Z_h , Z_{dr} , K_{dp} o ρ_{hv}). La diferencia entre los valores máximos y mínimos de las variables simuladas en el rango definido dividido por 2 representa “ a ”, mientras que el ancho sumado al valor mínimo del rango determina “ b ”. Esta pendiente se utilizó para representar la confianza en el set de funciones beta.

Además de las observaciones de radar, la temperatura es una variable importante para la clasificación de hidrometeoros. Dicha variable puede incorporarse por radiosondeos del lugar donde se realiza la clasificación para conocer las características del entorno del momento.

A través de una función beta y el peso de la contribución de cada variable polarimétrica definido por la autora ($Z_h=1.5$, $Z_{dr}=0.8$, $\rho_{hv}=0.8$, $K_{dp}=1.0$, $T=0.4$), se calcula un puntaje final (μ) de la siguiente manera:

$$\mu_i = \left[\frac{(W_{Z_{dr}} \beta_{Z_{dr},i} + W_{K_{dp}} \beta_{K_{dp},i} + W_{\rho_{hv}} \beta_{\rho_{hv},i})}{W_{Z_{dr}} + W_{K_{dp}} + W_{\rho_{hv}}} \right] \beta_{T,i} \beta_{Z_h,i} \quad (2)$$

Donde i indica la categoría de hidrometeoro, W es el peso para cada variable, y la función β .

Habiendo obtenido la identificación correspondiente mediante este método, la información resultante puede posibilitar la realización de una cuantificación de tasa de precipitación (QPE) para generar una herramienta adicional, principalmente para el pronóstico de precipitación a corto plazo, debido a que se puede asociar las zonas con presencia de hidrometeoros líquidos con regiones con precipitación. En este caso se empleará una técnica de relación Reflectividad-Precipitación (Z-R) que se define por la ecuación:

$$Z = aR^b \quad (3)$$

Con a y b constantes y R matriz de tasa de precipitación. En el trabajo de Vidal et. Al (2012), dichos coeficientes a y b se obtuvieron mediante un análisis estadístico de datos de disdrómetros, teniendo así las relaciones:

	a	b
Estratiforme	363,3	1,63
Convectivo	489,6	1,42
Todo	360,8	1,57

Tabla 2: Coeficientes de relación Z-R obtenidos por Vidal et al. 2012[1]

Estas herramientas pueden implementarse en todos los radares (de polarización dual) de Banda C alrededor del mundo. Como en el último tiempo se vio un aumento de dichas herramientas en el sensoramiento remoto a corto plazo en la Argentina, se consideró realizar un estudio para este trabajo utilizando el Radar Meteorológico

Argentino 1 (RMA1) emplazado en la capital de la provincia de Córdoba, el cual presenta las siguientes características:

RMA 1	
Banda	C
Ancho de haz	0.9º
Frecuencia	5625 MHz
Ancho de pulso	0.4 - 3 µSec
PRF Min	300 Hz
PRF Max	2000 Hz
Manufactura	INVAP
Tipo de transmisor	Magnetron
Potencia	320 kW
Polarización	Dual

Tabla 3: Especificaciones técnicas del radar de Córdoba.

Con todo lo antes mencionado se propone como objetivo del presente trabajo el estudiar un caso de precipitación estratiforme en la región de Córdoba implementando las técnicas de identificación de hidrometeoros y cuantificación de tasas de precipitación propuestas por los autores anteriormente mencionados y una posterior validación contrastando estadísticamente (RMS **(4)**, BIAS**(5)**, Coeficiente de Correlación**(6)**) las estimaciones de precipitación mediante un método directo con las mediciones in-situ a través de la red de estaciones meteorológicas automáticas que posee la Bolsa de Cereales de la provincia de Córdoba.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_{estimado} - x_{observado})^2} \quad (4)$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_{estimado} - x_{observado}) \quad (5)$$

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (6)$$

Donde (σ_x, σ_y) es la desviación estándar de x e y respectivamente y σ_{xy} la covarianza de (x,y) en este caso x es la variable observada e y la variable estimada.

Datos y metodología

Para este trabajo se utilizaron datos de variables polarimétricas en la primera elevación del radar (0.6°), con una frecuencia de 10 minutos aproximadamente, en formato NetCDF correspondientes a la noche del 20 y madrugada del 21 de noviembre de 2017 en los cuáles se pudo visualizar un sistema de precipitación estratiforme localizado al noreste del radar. El mismo está emplazado en la zona sur de la ciudad de Córdoba (31° 26' 29" S - 64° 11' 31" O) a una altura de 441 metros sobre el nivel del mar sobre una torre de 35 metros de altura en el predio de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba.

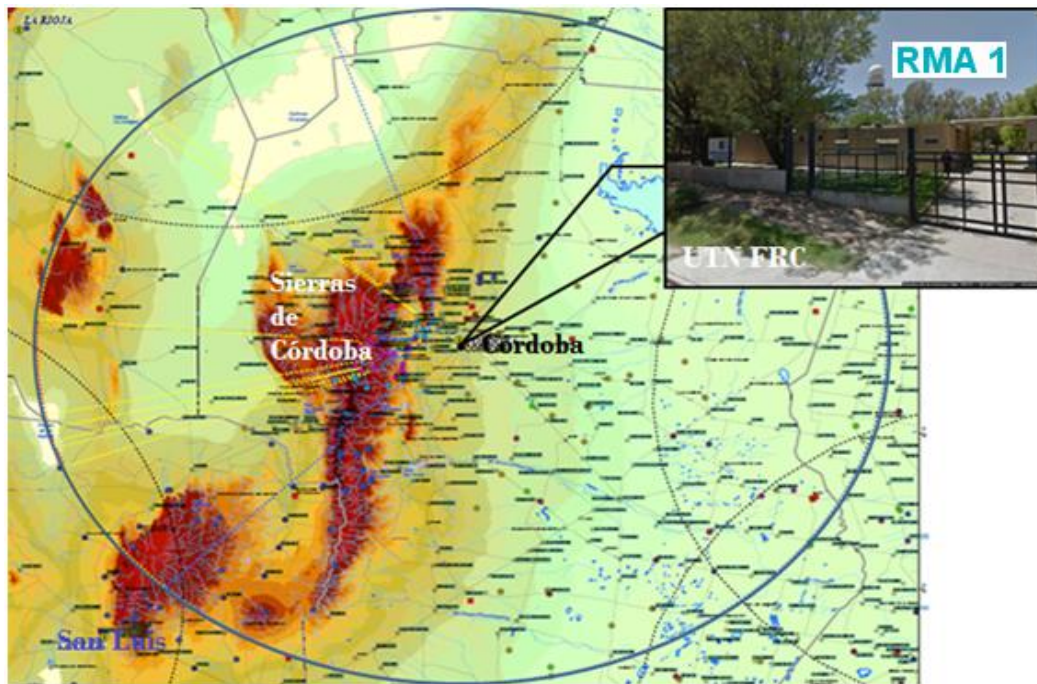


Figura 1: Posición en un mapa físico-político del RMA1 y su rango máximo de observación (círculo azul).

Previo a la descripción de las metodologías que se desarrollaron en este trabajo se aclara que dichos datos pasaron por un proceso de corrección para disminuir o eliminar los efectos de ecos no meteorológicos (como interferencias electromagnéticas o clutter de terreno), los cuales se observan significativamente en la elevación más baja, que puedan ocasionar un sesgo en las estimaciones a realizar. Para dicha corrección se consideró un $\rho_{hv} > 0.9$ evitando así los ecos de terreno que presentan valores menores, Z_h a partir de valores de 4 dBz y $5 \text{ dB} > Z_{dr} > -1 \text{ dB}$.

Metodología HID

Efectuada la correspondiente corrección de los datos de radar para esta situación y utilizando de la información de temperatura, extraída del radiosondeo de Córdoba del 21 de noviembre de 2017 00 UTC, se eligió esta hora como el dato más representativo del entorno previo a la situación analizada.

Luego se procedió a calcular los parámetros que dicha autora postuló (función beta y puntuación) e identificar los hidrometeoros presentes usando la técnica de identificación de hidrometeoros a partir de los rangos considerados por Dolan et al (2013).

	Z_h		Z_{dr}		K_{dp}		ρ_{hv}		Temperatura
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Llovizna	-27.3	30.8	0.0	0.9	0.0	0.1	0.982	1.018	> -1.0
Lluvia	20.0	58.0	0.1	4.5	0.0	11.0	0.975	1.025	> -3.0
Cristales de hielo	-24.9	19.3	0.2	5.6	0.0	0.2	0.955	1.005	< 0.0
Nieve húmeda	-1.1	35.1	-0.1	2.1	-0.3	0.3	0.86	1.00	$-51.0 < T < 1.0$
Agregados	2.7	45.3	0.40	2.2	-0.2	0.7	0.49	0.99	$-2.5 < T < 4.5$
Graupel de alta densidad	34.1	54.5	0.40	2.8	0.0	3.8	0.96	1.04	$-22.5 < T < 17.5$
Graupel de baja densidad	27.8	46.2	0.0	1.8	0.0	0.2	0.975	1.025	< 0.0
Granizo	48.0	76.6	-0.4	0.7	-2.9	4.1	0.87	1.07	—
Gotas grandes	49.3	66.3	2.5	6.3	0.1	6.7	0.96	1.02	> -3.0
Hielo vertical	-26.0	24.0	-1.8	0.0	-1.5	0.0	0.953	0.996	< 0.0

Tabla 4: Rangos simulados de variables adaptadas a radares de Banda C[2]

Para este trabajo el caso de estudio se hace sobre sistema nuboso estratiforme con lo que en dicha metodología se espera tener una baja o nula probabilidad de encontrar granizo, no así graupel que puede presentarse debido a las condiciones del entorno dentro de la nube.

Metodología QPE

Para efectuar la cuantificación de tasas de precipitación se consideraron los datos corregidos de Z_h correspondientes a la primera elevación del radar (0.6°) a los cuales se les aplicó la relación Z-R esbozada en la sección anterior, considerando los coeficientes definidos en Método 1 o “Estratiforme” y Método 2 o “Total” (**Tabla 2**), debido a que en este caso de estudio se tiene una nubosidad estratiforme, y no convectiva, con lo que se esperan tasas de precipitación por debajo de 20 mm/hr[2.A].

Al considerar la elevación más baja se espera una mejor estimación de la precipitación ya que se encuentra más cercana a la superficie, aunque no se descarta que pueda presentar una sobre- o sub-estimación respecto a las observaciones a medida que aumenta la altura del haz al aumentar el rango y la precipitación puede no alcanzar la superficie ó que las condiciones del entorno, como el viento, puedan dificultar la medición.

Metodología de validación

Luego de cuantificar las tasas de precipitación, se procede a realizar una validación a través de un método directo en el cual dicha información se compara estadísticamente con mediciones pluviométricas in-situ en las estaciones indicadas en la **Fig. 2** (las cuales se encuentran ordenadas en función del número de estación catalogada por la Bolsa de Cereales). Se aclara que la medición en dichas estaciones es acumulativa para cada hora y la tasa de precipitación en cada estación se tomó de la matriz R, obtenida en cada método para la primera elevación, considerando la posición más cercana a las estaciones a partir de los rangos y azimuts respecto de la ubicación del radar. Además la resolución espacial disminuye con el rango debido a que el volumen escaneado por el haz de radar aumenta, alejándose de la superficie, lo que podría generar un error significativo en la estimación para estaciones que se encuentren muy alejadas del radar.

Se calcula el error cuadrático medio (RMS), coeficiente de correlación (r) y BIAS de las observaciones respecto a los métodos de estimación de precipitación mencionados.

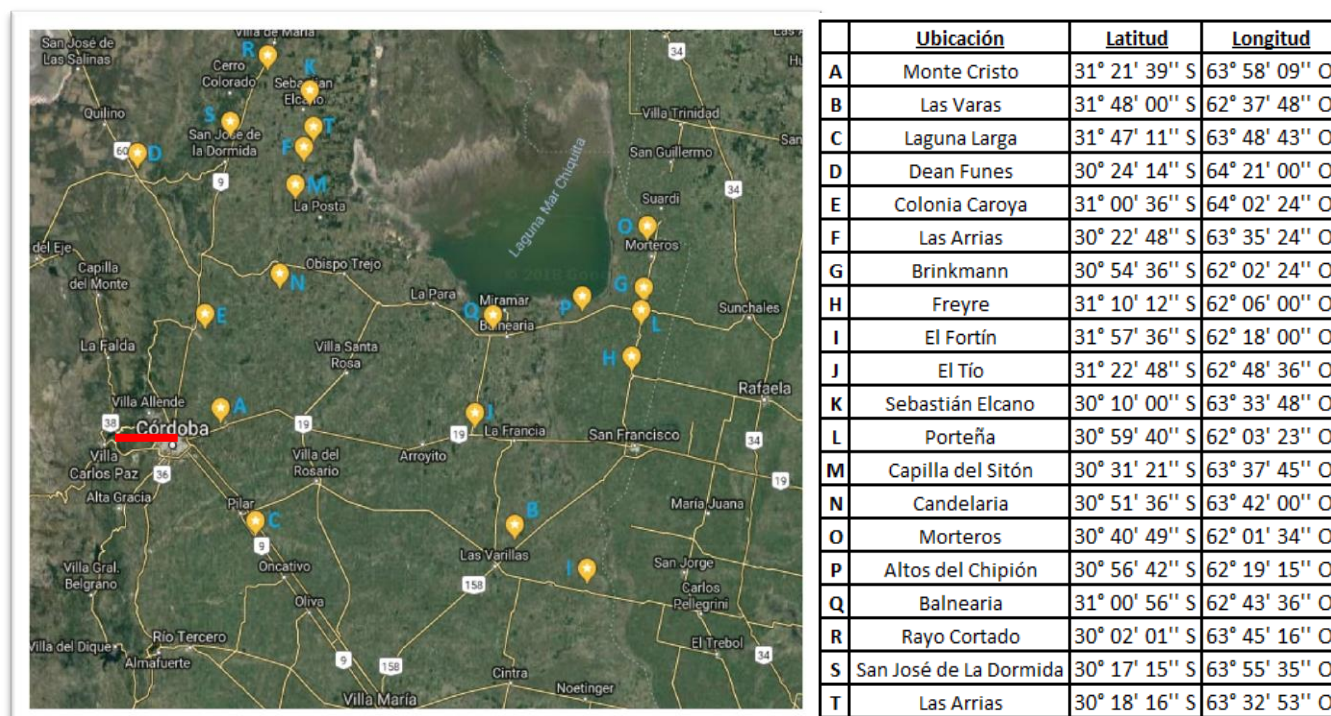


Figura 2: Estaciones meteorológicas de la Bolsa de Cereales de Córdoba localizadas en la región de estudio.

Se aclara que los resultados que se mostrarán corresponden al dato de radar temporalmente más próximo (04:55 UTC) al momento donde se registró el mayor acumulado en una de las estaciones elegidas y considerando así el momento de mayor actividad de la nubosidad estratiforme estudiada. Además los datos de precipitación observados fueron acumulados de forma horaria a partir de datos acumulados cada 15 minutos provistos por la Bolsa de Cereales.

Análisis y resultados

Para la realización de la identificación de hidrometeoros se observó en primer lugar las variables polarimétricas (como por ejemplo la **Fig. 3**), notando así que el sistema estratiforme presentaba valores de reflectividades equivalentes, tanto en polarización Horizontal como en Vertical, entre 25 y 45 dBZ los cuales indicarían estructuras de gotas grandes o cristales de hielo. Si observamos el coeficiente de correlación (ρ_{hv}) se tiene que los valores se encuentran entre 1 y 0.8 lo cual nos da idea de que no son estructuras perfectamente esféricas sino que presentan formas semiesféricas, pero sobre la región con nubosidad estratiforme el coeficiente presentó valores cercanos a 1. En el caso de la reflectividad diferencial nos muestra valores de dB positivos y mayores a 3, lo que haría referencia a estructuras que devuelven una amplitud de la onda del radar mayor en la polarización Horizontal que en la Vertical dando idea así de presencia de hidrometeoros con mayor diámetro horizontal que vertical. Sin embargo, como se observó que el coeficiente de correlación era cercano a 1 se esperaba que esta variable tuviese valores cercanos a cero. Es por esto que se puede inferir que dicha variable polarimétrica puede presentar un Bias positivo de al menos 3 dB.

Por último, viendo el “diferencial de fase” nos muestra que hay un cambio muy pequeño de la fase de la onda que emite el radar respecto a la que recibe, tanto es así que su variación con el rango presenta cambios del orden menor a $1^\circ/\text{km}$, esto nos habla de que las partículas que se encuentran dentro de la nubosidad son capaces de generar un pequeño desfasaje indicando que dicho sistema no presenta gran concentración de gotas líquidas.

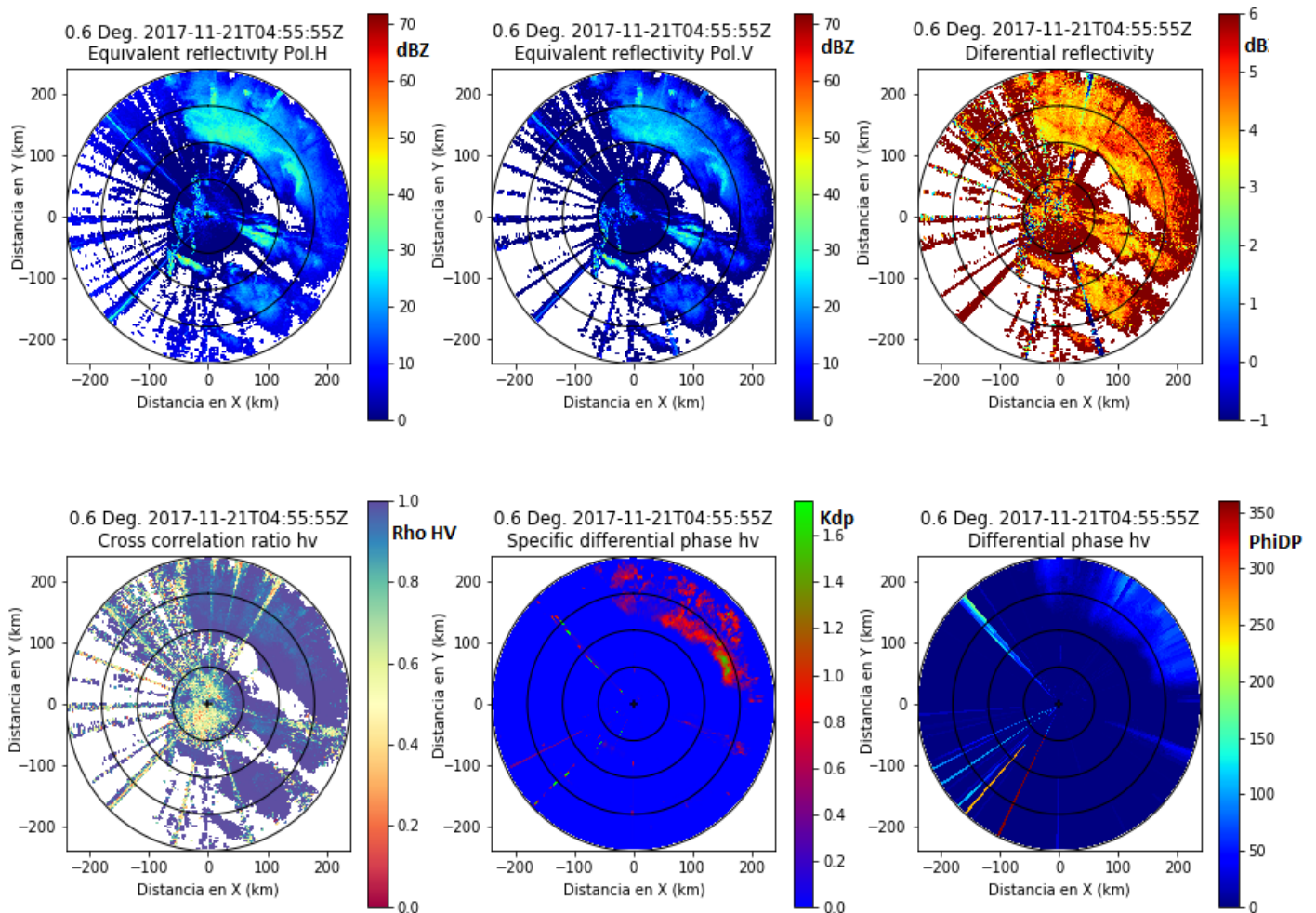


Figura 3: Gráfico de las variables polarimétricas extraídas del radar (sin corrección)

Si bien el sistema se presentaba aislado respecto del entorno, en algunos tiempos del análisis se tuvo dificultades (sobre todo en regiones cercanas al radar) con el estudio de las variables por los efectos de interferencia electromagnética, ecos de terreno y bloqueo del haz por las sierras. Es así que se realizó una corrección obteniendo variables menos sesgadas para este trabajo como se puede observar a continuación.

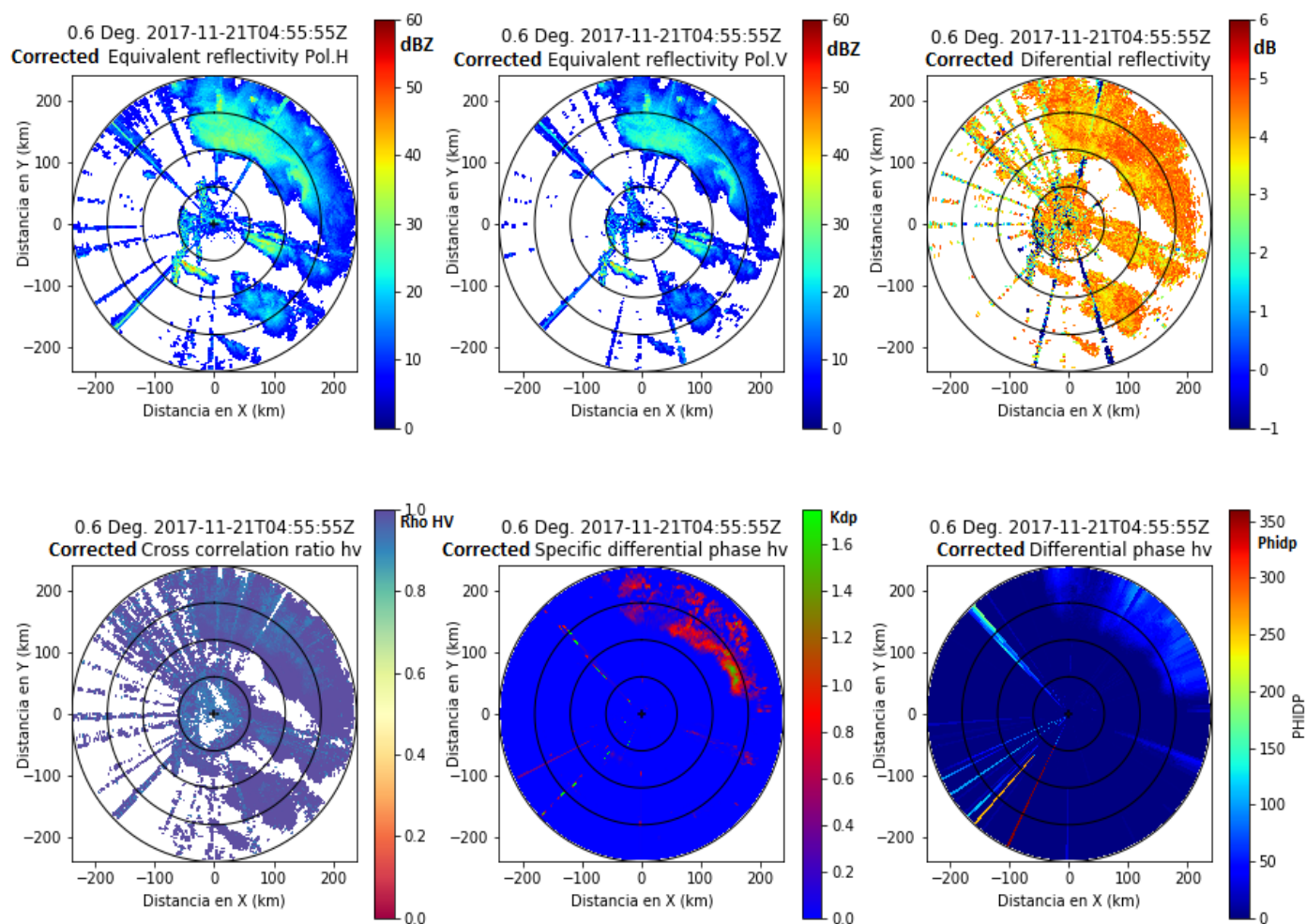


Figura 4: Gráfico de las variables polarimétricas corregidas extraídas del radar

Sin embargo no se logró una remoción completa de los ecos no meteorológicos, por lo que en algunas regiones se podría presentar un error en la detección de forma directa.

Además, se observó un enmascarado en la región de Noreste que corresponde a la nubosidad estratiforme, con lo cual parte del eco meteorológico fue también enmascarado debido a presentar valores altos. Sin embargo, debido a que es posible que la variable presente un Bias positivo de al menos 3 dB resulta de ello tomar en consideración la realización de más estudios para situaciones estratiformes con el fin de observar si se evidencia dicho sesgo.

La idea de este análisis pretendió explicar qué tipos de hidrometeoros podrían producir la respuesta en las variables producto de la interacción entre el pulso emitido por el radar y las partículas presentes en la estructura de interés, aunque no resulta suficiente como para poder tener una discretización objetiva del tipo de hidrometeoro. Es así que se procedió a emplear la metodología HID en la cual se pudo obtener lo siguiente:

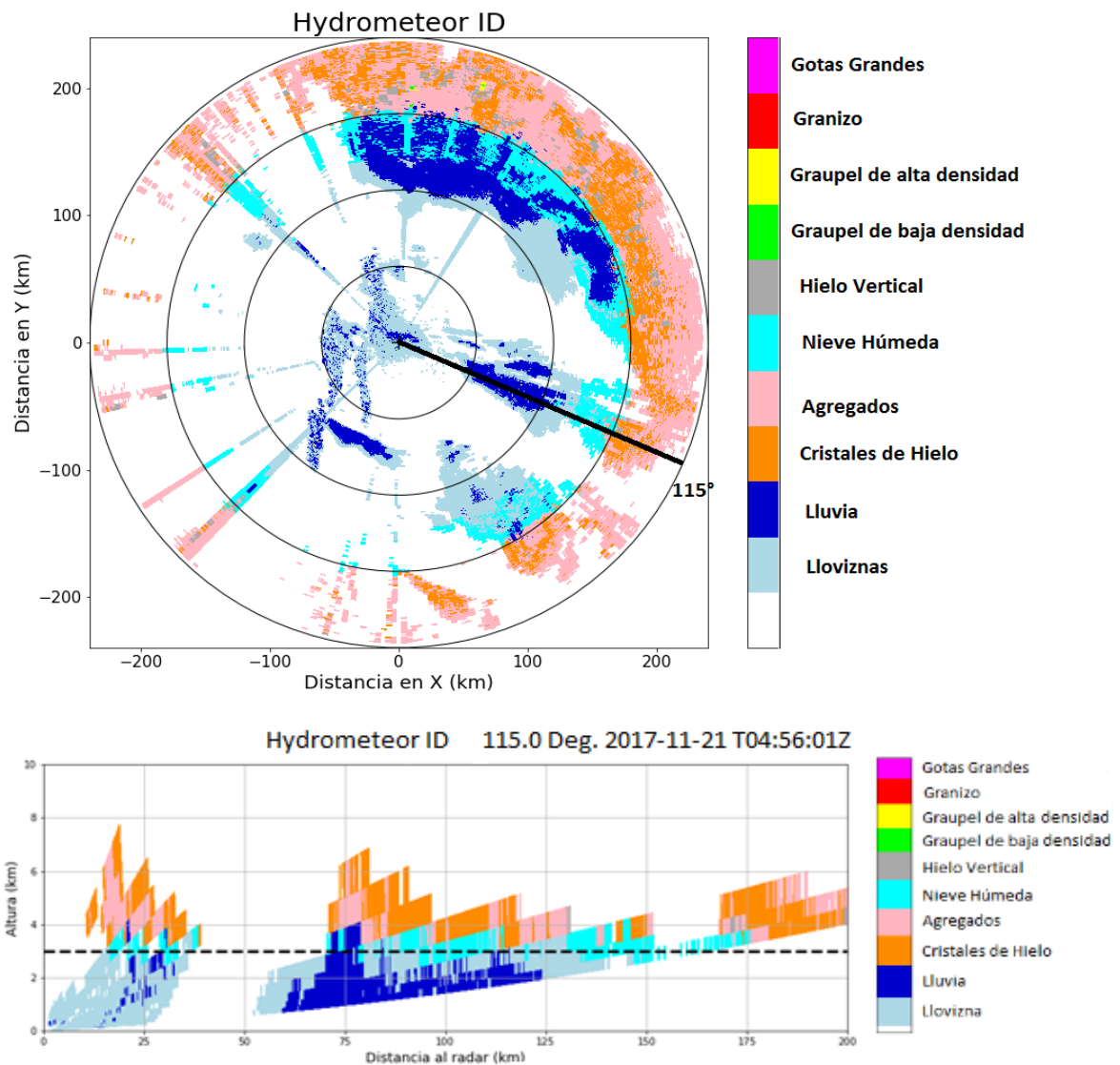


Figura 5: (a) Gráfico de HID en la primera elevación (0.6°) y (b) Corte vertical de HID en el azimut 115° (en línea punteada negra se marca la isoterma de 0°C).

Esta metodología en los rangos cercanos al radar, que equivale a alturas bajas de la tropósfera, los hidrometeoros son etiquetados como líquidos (“lluvia” y “llovizna”). Siguiendo en los rangos entre 120 y 180 km (segundo y tercer anillo) se comienza a observar una transición del estado líquido al sólido con la presencia de “nieve húmeda”, lo que nos da la idea de que el haz del radar se encontraría a una altura próxima a la isoterma de 0°C del entorno. Esta región de transición se la conoce como la Banda Brillante (B.B.) y se la suele detectar mediante elevadas reflectividades equivalentes (horizontal y vertical), coeficientes de correlación entre 0.9 y 0.95, y un cambio leve en la fase debido a la presencia de hielo. Esta región se visualizó en todas las horas en la zona donde el HID mostró dicha categoría a una altura de 3.1 km, debido a que presentaba información de la isoterma de 0°C del entorno dado por el sondeo de las 00Z del 21 de noviembre de 2017. Por último se tiene que a rangos mayores, de la posición donde se encontraría la B.B., los hidrometeoros se presentaban en estado sólido etiquetados como “Agregados” y “Cristales de Hielo” o “graupel”. Como se había comentado, en toda esta situación de estudio, la

probabilidad de encontrar granizo en la nube fue muy baja o nula debido al tipo de nubosidad.

Se concluye así que con esta metodología se puede realizar una buena discriminación de las partículas meteorológicas que componen la nubosidad estratiforme gracias al hecho de incorporar no sólo información que proviene del radar sino también del entorno. Sin embargo, debido al hecho de que en la corrección de las variables polarimétricas no fue posible remover la totalidad del problema de la interferencia y el bloqueo del haz causado por las Sierras de Córdoba, la metodología no pudo discriminar a los ecos no meteorológicos de los meteorológicos llegando así a errores en la categorización en algunas regiones. Además, como se consideró un sondeo de un horario previo a la situación puede que el posicionamiento de la B.B. no fuese exacta debido a que la isoterma de 0°C pudo haber cambiado de altura en los momentos del evento, con lo que se podría tener una sobre o subestimación de zona de transición.

Una vez categorizadas las partículas que se encuentran en la región de interés se procedió a calcular las estimaciones de precipitación con los dos métodos explicados. Se notó que en ambos casos, como se pueden ver en la siguientes figuras (que representan dos horarios, el primero se consideró en la metodología y el segundo correspondiente a la mayor la tasa de precipitación registrada en los métodos de QPE), que en la región de la B.B. las estimaciones de precipitación tienden a aumentar y en las regiones donde se tenían los hidrometeoros sólidos y líquidos por separado, la tasa disminuía.

Resulta de este análisis que en la región donde se tuvo interferencia y bloqueo del haz esta técnica generó falsas tasas de precipitación confundiéndola con lluvia. Sin embargo, en el lugar de interés se pudieron estimar tasas dentro de lo normal, debido a que al ser región de nubosidad estratiforme se pretendía encontrar valores de tasas no mayores a 20 mm/hr.

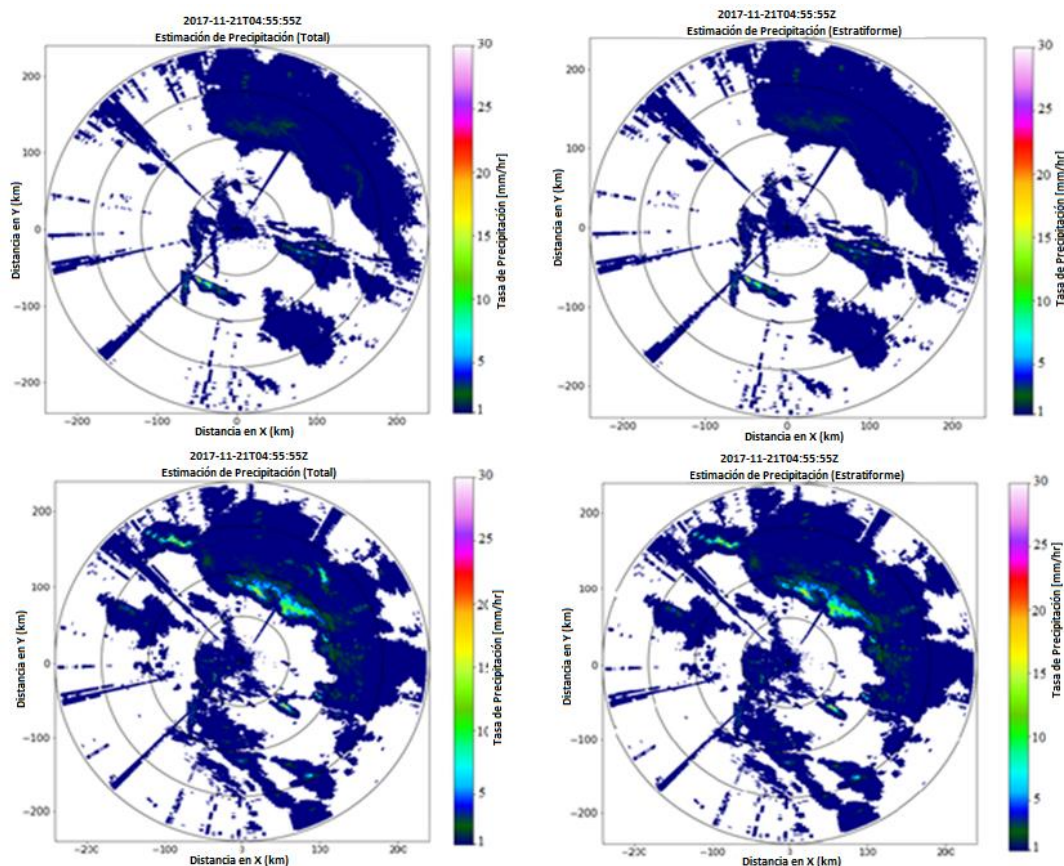


Figura 6: Gráfico de QPE en la primera elevación (0.6°) para 04:55 UTC (**SUPERIOR**) y para 03:02 UTC (**INFERIOR**) con el método “Total” (**IZQ.**) y “Estratiforme” (**DER.**).

Por último, al realizar la validación de las estimaciones de precipitación con las estaciones mencionadas se calcularon los estadísticos mostrados en la siguiente tabla:

Observaciones	Estaciones de la Bolsa de Cereales de Cordoba																			
Tiempo\Estaciones	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
21/11/2017 02UTC	0	2,8	2,2	2,2	0,4	0	0,2	0	0,8	0,6	0	0	0,8	2	1,2	0	0,4	0	0,4	0
21/11/2017 03UTC	0	0,6	1,8	2	0	0,6	0	0,2	0	2,8	2,2	0,2	4	0,2	0,4	0	3,4	3,2	6,4	3,8
21/11/2017 04UTC	0	1	0,8	0	0	1,4	0,6	5	3,2	0,2	7,4	3	2,6	0	2,2	6	1,4	6,8	1,8	7,2
21/11/2017 05UTC	0,2	1	2	1	9	0	5,4	4	0,6	0	10	7,6	4	0,2	4,8	5,8	0,2	9,4	7,2	6,4
Estimación Método 1	Estaciones de la Bolsa de Cereales de Cordoba																			
Tiempo\Estaciones	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
21/11/2017 02UTC	1	1	0	1,8	1,2	2	0	0	1	1	0	0	1	1,8	0	0	1	0	1,2	0
21/11/2017 03UTC	0	1,1	0	1,4	0	5	0	0	1	2	1	0	3,8	1	1	1	1,4	1	1	1,2
21/11/2017 04UTC	1	1	1	0	0	1,2	1	0,8	0,7	0,4	1	0,4	4,5	0	0,3	1	1	0,8	1	3,2
21/11/2017 05UTC	0,8	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1,4	1	1,8
BIAS	0,65	-0,325	-1,45	-0,5	-2,05	1,55	-1,05	-1,85	-0,225	-0,05	-4,15	-2,35	-0,525	0,1	-1,575	-2,2	-0,5	-4,05	-2,9	-2,8
RMS	0,77	0,93	1,74	0,62	4,52	2,42	2,21	2,58	1,36	0,46	5,55	3,55	2,22	0,42	2,23	3,50	1,07	5,12	4,15	3,31
R(coef. de correlación)	0,1400	0,5076	0,9649	0,9118	0,2929	0,1367	0,6493	0,9503	0,9704	0,9558	0,7097	0,9996	0,1212	0,8641	0,3151	0,5771	0,7511	0,8644	0,7052	0,9387
Estimación Método 2	Estaciones de la Bolsa de Cereales de Cordoba																			
Tiempo\Estaciones	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
21/11/2017 02UTC	1	1	0	1,5	1,2	2,5	0	0	1	1	0	0	1	2	0	0	1	0	1,2	0
21/11/2017 03UTC	0	1,1	0	1,5	0	6	0	0	1	1,9	1	0	4	1	1	1	1,5	1	1	1,3
21/11/2017 04UTC	1	1	1	0	0	1,4	1	0,8	0,8	0,7	1	0,4	4,5	0	0,3	1	1	0,8	1	3,2
21/11/2017 05UTC	0,8	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1,2	1	0	0	1	1	0	1,5	1	2
BIAS	0,65	-0,325	-1,45	-0,55	-2,05	1,975	-1,05	-1,85	-0,2	0	-4,1	-2,35	-0,475	0,15	-1,575	-2,2	-0,475	-4,025	-2,9	-2,725
RMS	0,77	0,93	1,74	0,66	4,52	2,98	2,21	2,58	1,32	0,55	5,47	3,55	2,22	0,41	2,23	3,50	1,02	5,08	4,15	3,23
R(coef. de correlación)	0,1400	0,5076	0,9649	0,9117	0,2929	0,1196	0,6493	0,9503	0,9704	0,9247	0,7916	0,9996	0,1414	0,8907	0,3151	0,5771	0,7871	0,8750	0,7052	0,9609

Tabla 5: Mediciones de Precipitación en cada estación en mm (**primera tabla**).

Estimaciones de precipitación para el 1er método con los estadísticos (**segunda tabla**).

Estimaciones de precipitación para el 2do método con los estadísticos (**tercera tabla**).

Se puede observar que para ambos métodos las estaciones A y N presentan una leve sobreestimación de la tasa de precipitación. La estación J tuvo una compensación entre las sobreestimaciones subestimaciones de la tasa. Mientras que las demás estaciones mostraron una fuerte subestimación con diferencias máximas de 4 mm/hr respecto a lo observado.

Para cuantificar el error de los métodos se calculó el error cuadrático medio y se vio que en las estaciones con mayor Bias fue de 5 mm/hr respecto a aquellos que presentaron un Bias cercano a cero donde el error fue aproximadamente 0.5m/hr. Esto puede deberse a que las estaciones que se encontraban a mayor rango, estimaban tasas de precipitación en alturas muy por encima de la superficie, lo que pudo generar un error a la hora de medir debido a que dicha precipitación podía no llegar al pluviómetro por evaporación o el viento.

Sin embargo, al tener pocas mediciones temporales debido a que el sistema fue de corta duración, los valores de correlación no resultaron ser significativos para todas las estaciones salvo en unas pocas donde se vio la tendencia del aumento de precipitación producto de que dichas estaciones registraron el evento durante el paso del sistema.

Conclusiones

A partir de las variables polarimétricas no se pudo obtener una discretización objetiva del tipo de hidrometeoro, aunque pueden dar idea de tamaños o formas de los mismos. Además, se observó un posible Bias positivo de al menos 3 dB, lo resulta de ello tomar en consideración la realización de más estudios para situaciones estratiformes en la región con el fin de evidenciar dicho sesgo y volver a realizar los enmascarados para ver si se tiene una mejora en la objetividad.

La objetividad pudo lograrse a través de la implementación de la técnica de HID ya que se obtuvo una buena discriminación de las partículas meteorológicas que componen la nubosidad estratiforme gracias a complementar la información que proviene del radar con la del entorno. Sin embargo, debido al hecho de que no fue posible remover la totalidad del problema en la corrección de las variables polarimétricas de la interferencia y el bloqueo del haz causado por las Sierras de Córdoba, la metodología no pudo discriminar los ecos no meteorológicos de los meteorológicos lo cual condujo a errores en la categorización. Por ello es recomendable a futuro añadir una categorización de eco no meteorológico y la falta de datos horarios de sondeos se propone utilizar sondeos modelados de cada hora para tener mayor detalle de la evolución del “entorno” y así lograr una ubicación más precisa de la isoterma de 0°C con una mejor discretización de la Banda Brillante.

Respecto a la cuantificación de tasas de precipitación, la metodología de Vidal et al (2012) permitió estimar tasas dentro de lo esperado, aunque al querer validar dicha metodología se observó que las estaciones que se encontraban a mayores rangos del radar se estimaban tasas de precipitación en alturas muy por encima de la superficie lo que las vuelve poco representativas respecto de las mediciones in-situ. Esto se vio reflejado en la mayor parte de las estaciones como una posible subestimación de la tasa de precipitación generada por los métodos, pero más allá de esto y en rangos generales el que mostró mejor desempeño para este evento fue el método 1, Z-R “Estratiforme”.

También se puede concluir que la validación para este caso de estudio puede no ser suficientemente buena debido a la corta duración del evento o puesto que no se produjo una cantidad significativa de precipitación. Es así que se propone para trabajos futuros una validación más exhaustiva considerando más casos de precipitación estratiforme para así contar con un mayor conjunto de datos observados que puedan ayudar a discernir si la metodología empleada en el presente trabajo es eficiente para ser aplicada como una herramienta operativa.

Agradecimientos

Los autores agradecen al SINARAME (Sistema Nacional de Radares Meteorológicos) por la provisión de los datos del radar de Córdoba.

Bibliografía

[1]"Uso combinado de datos TRMM/PR y disdrómetro para corrección de reflectividad de radares meteorológicos en Argentina".L. Vidal, P. Salio, L. Pappalardo (2012)

[2] "A robust C-Band Hydrometeor Identification Algorithm and Application to a Long-Term Polarimetric Radar Dataset". Brenda Dolan, Steven A. Rutledge (2013)

[2.A] Dato considerado como la tasa que presenta mayor frecuencia para sistemas estratiforme, Dolan et. Al (2013), pag. 21

[3] "A Theory-Based Hydrometeor Identification Algorithm for X-Band Polarimetric Radars". Brenda Dolan, Steven A. Rutledge (2009)

- Sondeo de Córdoba, 21 de noviembre 00 UTC → <http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding?region=samer&TYPE=GIF%3ASTUVE&YEAR=2017&MONTH=11&FROM=2100&TO=2100&STNM=87344>
- Proyecto SINARAME → <http://www.sinarame.gob.ar/www/549/20874/rma1>
- Red de estaciones automáticas, Bolsa de Cereales de Córdoba → <http://clima.bccba.com.ar/>
- Base de datos de radares, OMM → <http://wrd.mgm.gov.tr/db/radar-details.aspx?l=en&r=3108>