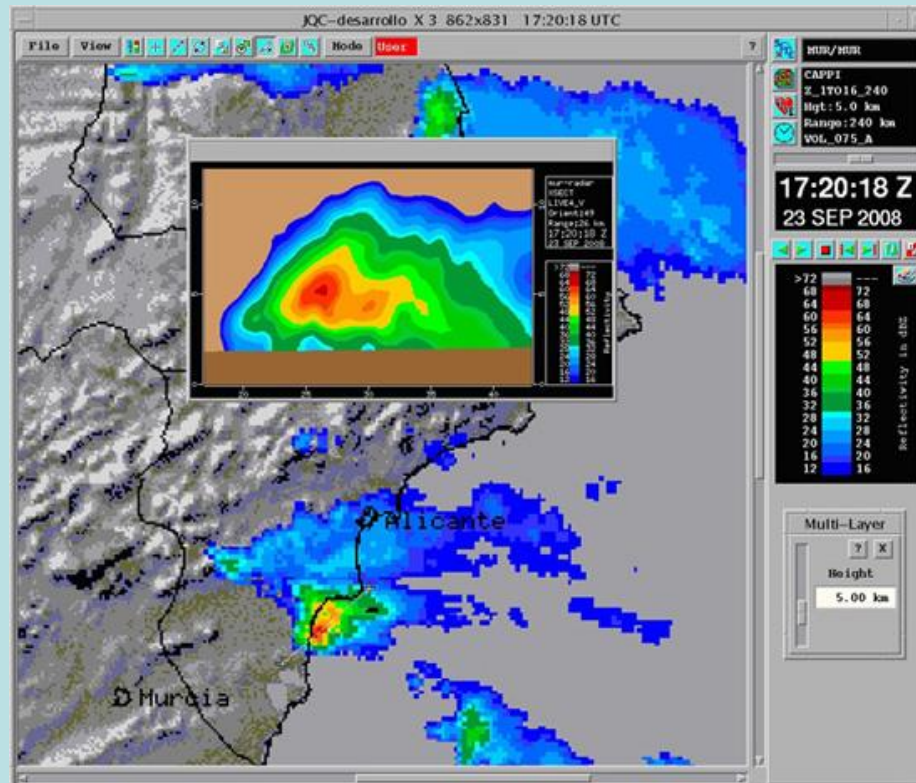


## PIB-M. FASE PRESENCIAL. 2023 RADARES (PARTE A)



Jesús Riesco Martín.  
jriescom@aemet.es

PIB-M. FASE PRESENCIAL. 2023  
RADARES

# 1.- INTRODUCCIÓN AL RADAR

Jesús Riesco Martín.  
jriescom@aemet.es

## ÍNDICE TEMÁTICO

- 1.- Concepto de radar y de radar meteorológico
- 2.- ¿Qué ve un radar meteorológico?
- 3.- Parámetros de los radares meteorológicos
- 4.- Tipos de radares meteorológicos
- 5.- Ecuación del radar. Reflectividad

# 1.- Concepto de radar y de radar meteorológico

## ¿Qué es un radar?

**Radar:** sistema electrónico que permite detectar objetos fuera del alcance de la vista y determinar la distancia a que se encuentran proyectando sobre ellos **ondas de radio**.

La palabra *RADAR* corresponde a las iniciales de "**Radio Detection and Ranging**", y fue utilizado por las fuerzas aliadas durante la II Guerra Mundial para designar diversos equipos de detección y para fijar posiciones.

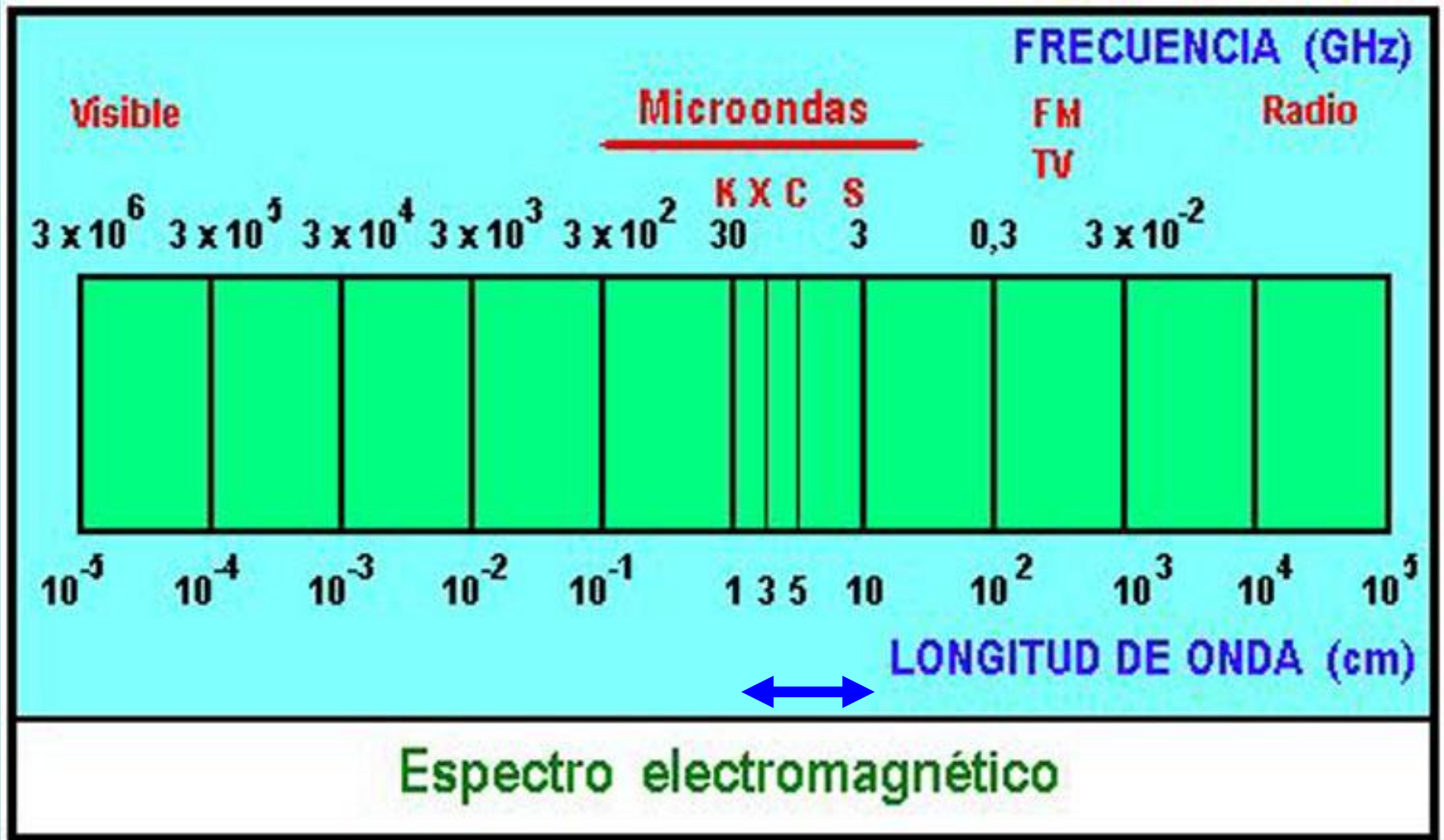
# ¿Cómo funciona un radar?

- ❑ Los radares “**emiten**” **pulsos de energía electromagnética** (microondas) y miden la energía devuelta por los blancos que encuentran.
- ❑ El **blanco puede ser** un avión, precipitación en una tormenta, bandadas de pájaros, etc.
- ❑ **Si el blanco se mueve** cuando le llega la energía, entonces la onda e.m. sufrirá un cambio en la longitud de onda (frecuencia), **Efecto Doppler**, tras el choque. Es así como podemos medir parcialmente la velocidad del blanco.



## Aplicaciones del radar

- Aparte de en la navegación marítima y aérea, el radar ha encontrado una aplicación casi universal en **meteorología y predicción del tiempo**. Así los equipos de radar proporcionan información acerca de la **intensidad de las precipitaciones**, y permiten alertar con antelación sobre posibles inundaciones.
- Un importante desarrollo "más reciente" es el uso del **LIDAR** para controlar la **contaminación atmosférica y otras partículas en suspensión**, pues a menudo se puede identificar otros tipos de sustancias químicas y medir su concentración. Otros son el SAR, SODAR, etc.
- La policía utiliza otro tipo de radar en el **control del tráfico**, para determinar la **velocidad de los vehículos y cuantificar la densidad del tráfico** en las principales calles.



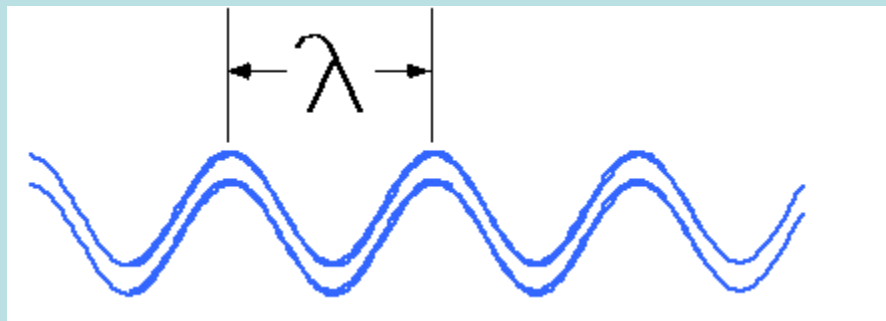
- Las ondas se propagan aproximadamente en **línea recta** y a **velocidad constante en el vacío** ( $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ).

- La **longitud de onda** de la radiación radar es del orden de unos **cm**



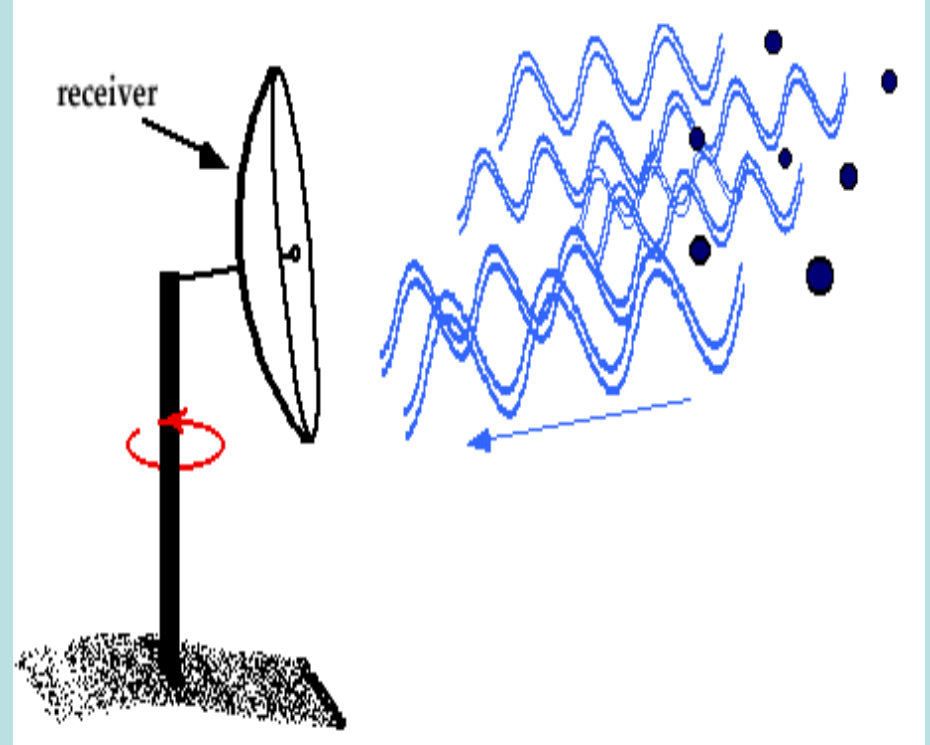
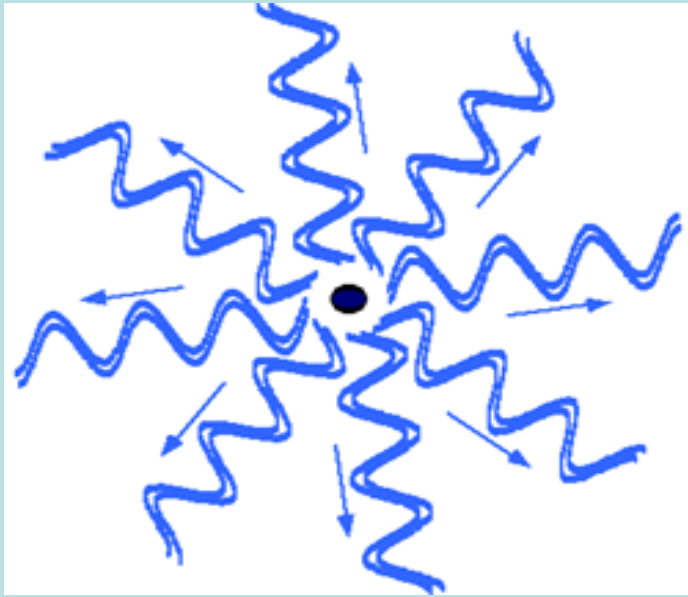
El radar meteorológico convencional emite a la atmósfera, a intervalos de tiempo iguales, potentes impulsos de energía electromagnética muy breves y de frecuencia muy elevada (normalmente operan con longitudes de onda centimétricas).

La energía está concentrada en un haz de pequeña abertura por una **antena directiva**. Los blancos presentes en el haz interceptan una parte de la energía incidente que absorben y difunden en diversas direcciones. La fracción reenviada hacia el radar es la señal útil y recibe el nombre de **eco**.



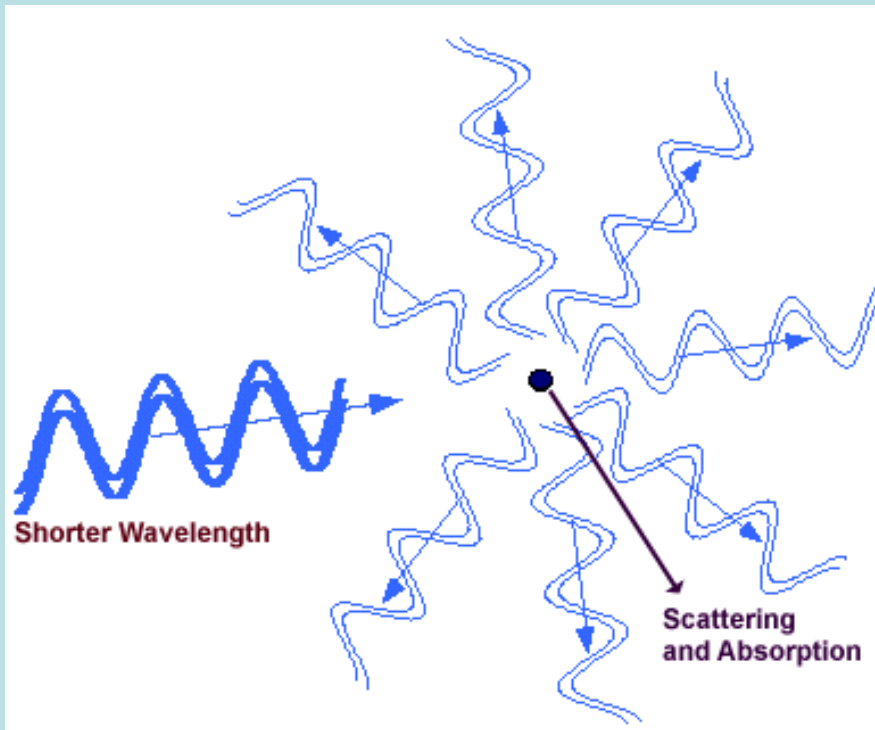
Cuando una onda electromagnética incide sobre un **cuerpo inmóvil**, parte de la energía del campo incidente es **absorbida** por el cuerpo y se transforma en calor mientras que otra parte es **difundida** en todas las direcciones en forma de un campo electromagnético con la misma longitud de onda que el incidente.

Los ecos meteorológicos están compuestos por señales de un gran número de partículas que se mueven unas respecto a las otras por lo que la **energía devuelta fluctúa con el tiempo**. Es por esto que la **señal recibida se promedia para un intervalo de tiempo**.

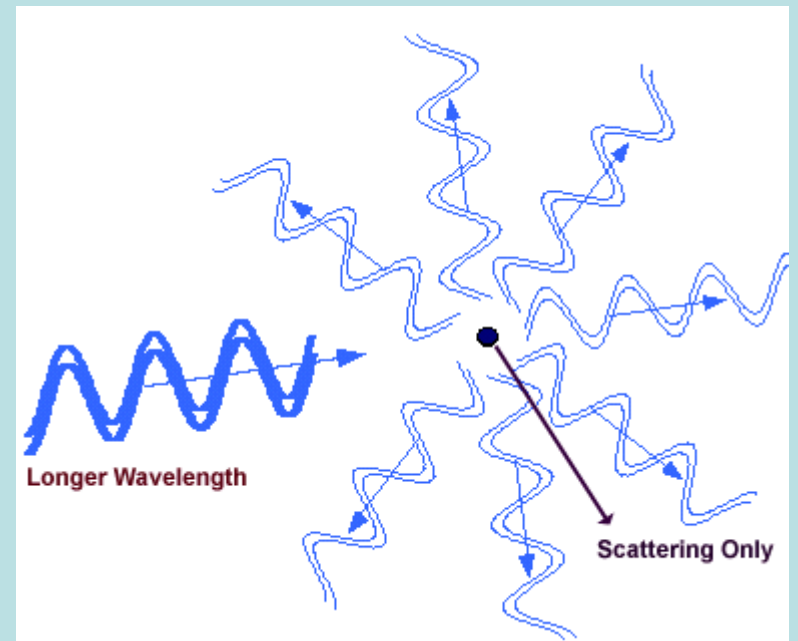


La difusión de la energía e.m. incidente, por parte del blanco se produce en todas las direcciones. Especial interés tiene la **señal devuelta hacia el radar**.

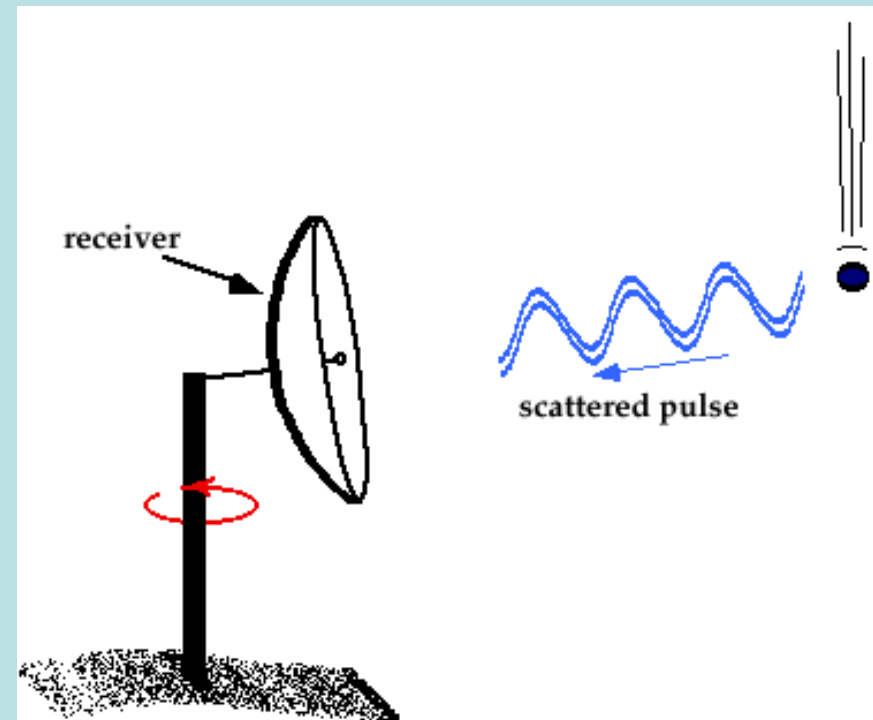
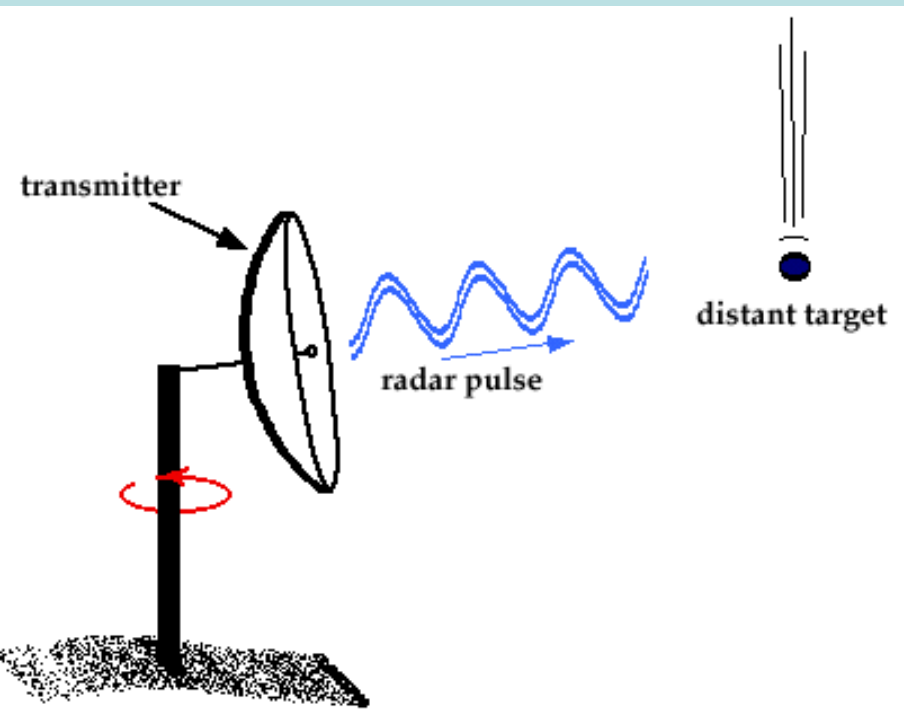
Esta señal es normalmente mucho más débil que la original enviada por el emisor (radar), y la llamamos "**señal devuelta**".



A mayor longitud de onda, menor absorción  
(casi sólo dispersión de la onda incidente)



# Emisión y Recepción de un pulso energético



La **orientación de la antena** (elevación y acimut) que determina la dirección del pulso y el **tiempo transcurrido** entre la emisión del pulso y la recepción de la señal, permite **localizar la región difusa**.

# Componentes del Radar

**Transmisor:** Genera cortos impulsos de energía en la zona de radiofrecuencias del espectro electromagnético.

**Antena:** Es la encargada de focalizar la energía emitida en una haz lo más estrecho posible y a la vez interceptar la mayor parte de la energía devuelta por el blanco

**Sistema Receptor:** Es el encargado de amplificar, detectar y transformar la señal radioeléctrica recibida del blanco en una señal eléctrica para su posterior procesado

2.- ¿Qué ve un radar meteorológico?

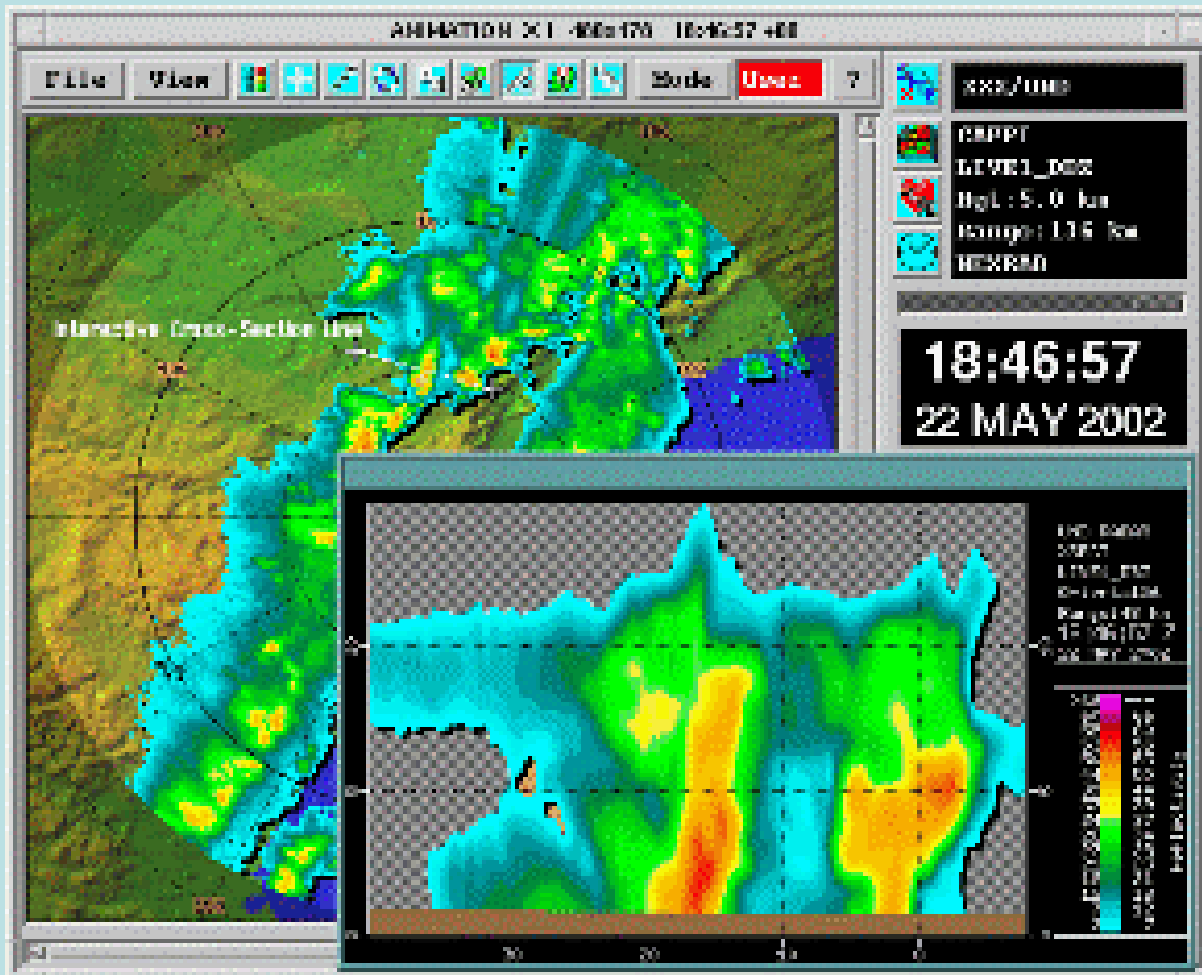
# SISTEMA TERRESTRE DE TELEDETECCIÓN ACTIVA (emiten radiación)

## Radar meteorológico:

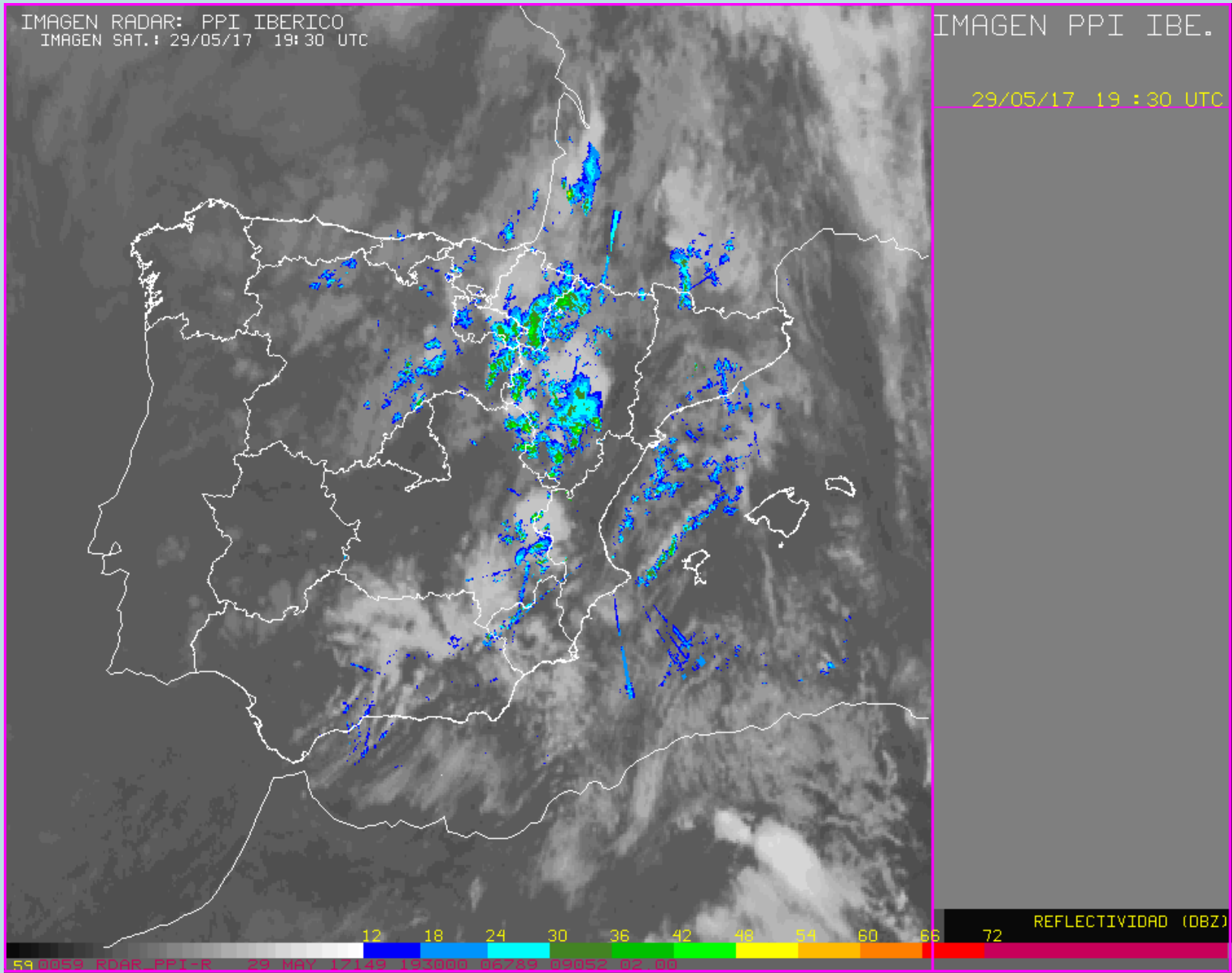
Detectar y seguir ecos meteorológicos:

- precipitación,
- viento radial y
- turbulencia





[http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Data%20sheets/141216\\_vaisala\\_iris\\_vision\\_brochure-final-lores-pages.pdf](http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Data%20sheets/141216_vaisala_iris_vision_brochure-final-lores-pages.pdf)



Muchas veces interesa combinar el radar con otras fuentes de información

# ¿Qué “ve” un radar meteorológico? (I)

- ▶ Un radar meteorológico detecta un volumen de partículas que hay en la nube tales como gotitas condensadas, gotas de lluvia, nieve, hielo y granizo.
- ▶ Si la longitud de onda del radar es grande comparada con el tamaño de esas partículas, la potencia reflejada será función del número y tamaño de las citadas partículas.



## Gotas de lluvia

Tamaño de las gotas	Rango de Diámetros
Muy pequeñas	<0.85 mm
Pequeñas	0.85 a 1.4 mm
Medianas	1.7 a 3.2 mm
Grandes	3.6 a 5.1 mm
Muy grandes	>5.1 mm

## ¿Qué “ve” un radar meteorológico? (II)

- ✓ Así los radares nos ofrecen una perspectiva del **grado de concentración de “partículas precipitantes”** de las nubes, **pero no pueden directamente informarnos del tamaño o tipo (lluvia, nieve, hielo o granizo).**
- ✓ Sin embargo, décadas de investigación en meteorología radárica nos ha enseñado cómo interpretar las imágenes radar y **relacionar la potencia recibida (también conocida como reflectividad) con la intensidad de precipitación, probabilidad de granizo, etc.**

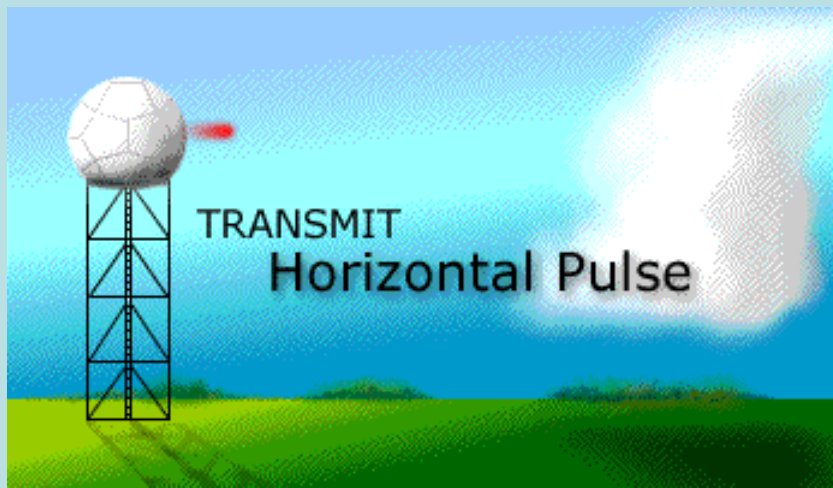
## 3.- Parámetros de los radares

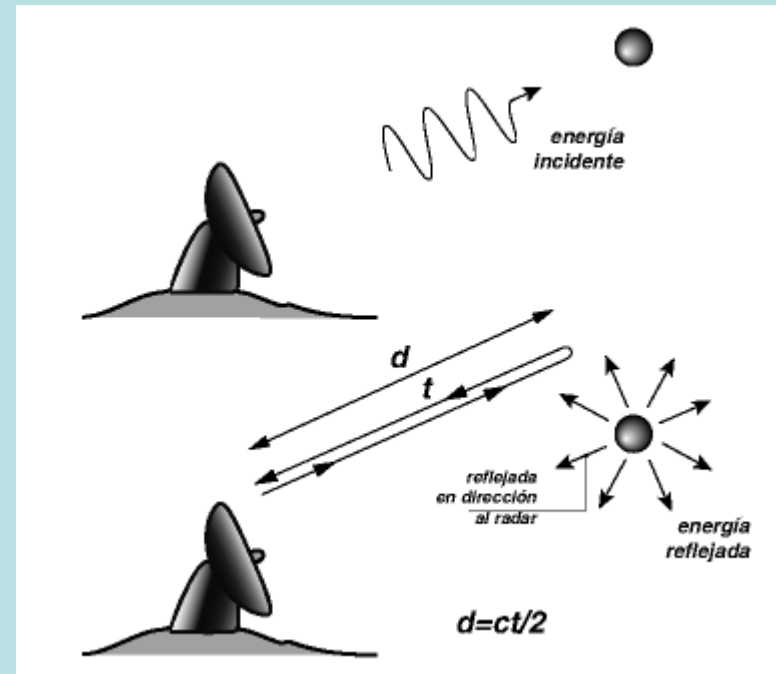
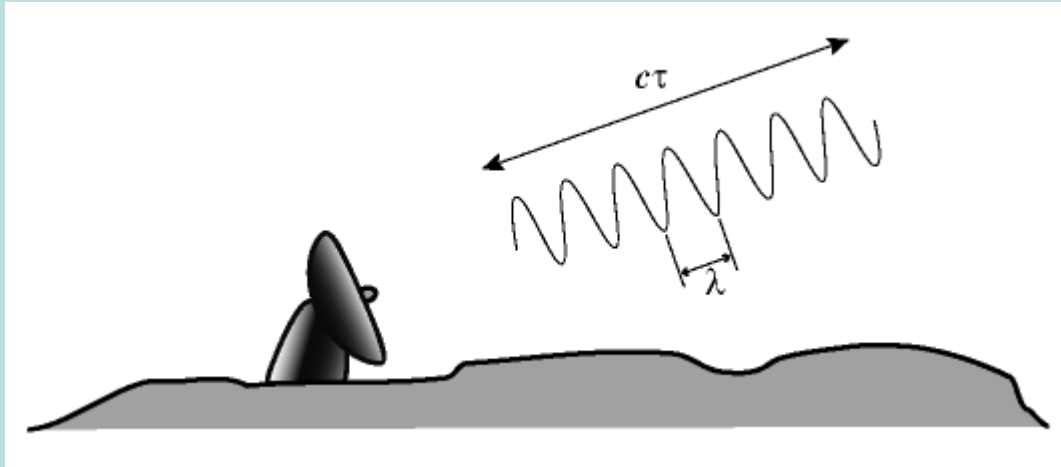
**El transmisor genera pequeños impulsos de energía, concentrados en un fino haz.**

Los radares utilizan una única antena para emitir y recibir energía devuelta por los ecos.

Mediante un interruptor automático se desconecta el receptor durante el cortísimo intervalo de tiempo en que se emite el pulso.

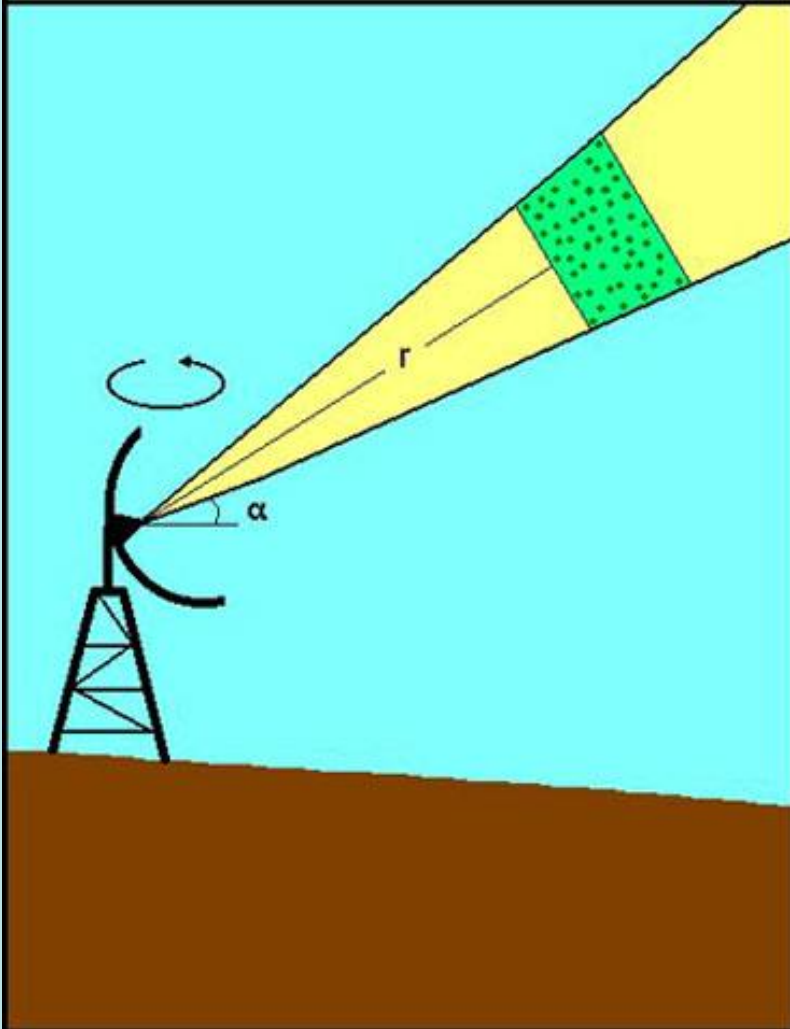
**Una vez terminada la transmisión, el interruptor activa automáticamente el receptor, haciendo así que el radar se ponga a la escucha.**







# RADAR METEOROLÓGICO



$t$  = intervalo de tiempo entre la transmisión y la recepción

$r$  = distancia radial del volumen sondeado

$\alpha$  = elevación de la antena

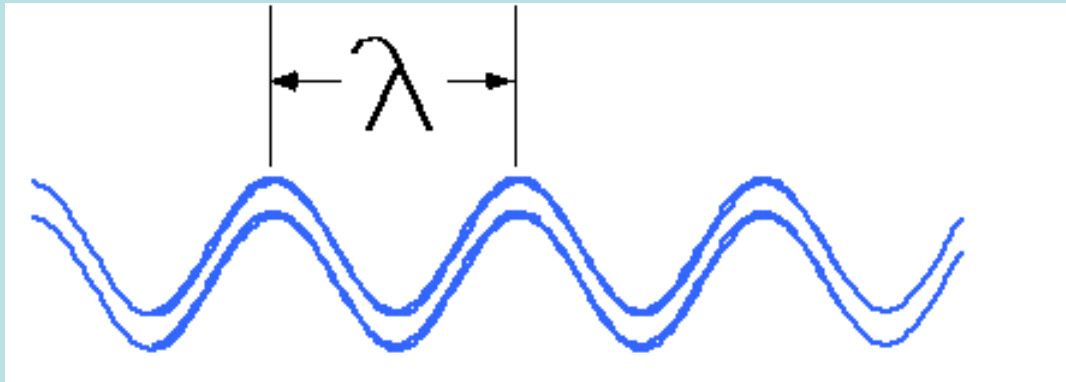
$$r = \frac{ct}{2}$$

La emisión de pulsos electromagnéticos en todas las direcciones permite realizar una **exploración en volumen**.

# Longitud de onda ( $\lambda$ ) y frecuencia ( $\nu$ ) de la señal

Radares AEMET  $\longrightarrow$   $\lambda = 5$  cm (banda C)

$$\lambda \cdot \nu = c$$



# Frecuencia de repetición de pulsos (PRF)

Es el número de pulsos que se emiten por segundo.

Este valor determina la distancia máxima de operación del radar para que no exista ambigüedad en la medida de distancias. Cuando el radar no es coherente no se puede identificar a qué pulso corresponde un eco recibido. La distancia máxima viene determinada por el hecho de que los ecos de un pulso deben recibirse antes de emitir el siguiente pulso.

Para AEMET:

PRF = 250 Hz  $\longrightarrow$  1 pulso cada 4 milisegundos

Luego, Distancia máxima =  $D_M = \frac{1}{2} c (1/PRF) = 600 \text{ Km}$

El alcance es de 240 km en la operatividad, o sea que muy lejos de esos 600 km necesarios para asegurar no ecos de 2ª generación.

## Duración del pulso ( $\tau$ )

Es el tiempo durante el cual se emite la energía. Va a determinar la resolución radial del radar. Para los radares de AEMET este valor es:

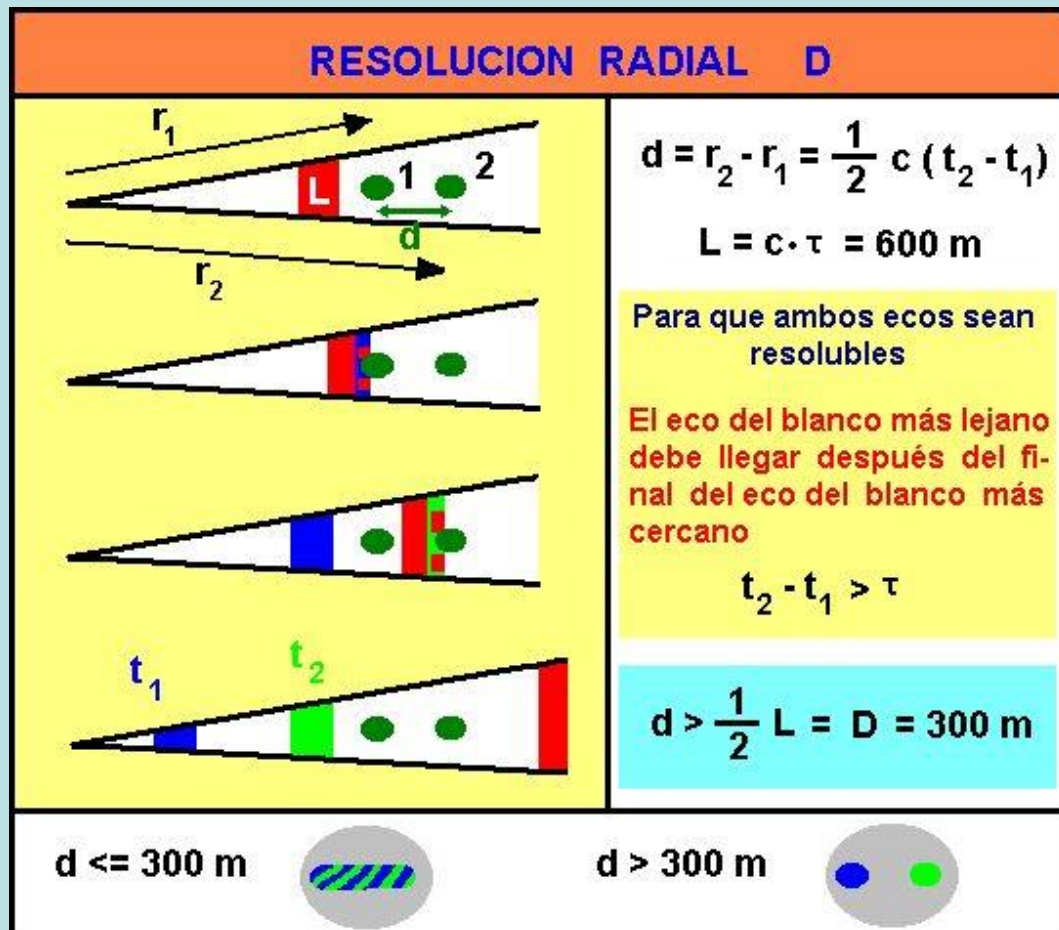
$$\tau = 2 \mu\text{s} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

Los radares de AEMET emiten un pulso de  $2 \mu\text{s}$  y se pasan escuchando  $3998 \mu\text{s}$

# Resolución radial

La resolución radial  $D$  se define como la capacidad de distinguir dos blancos situados en una misma dirección pero a diferentes distancias del radar

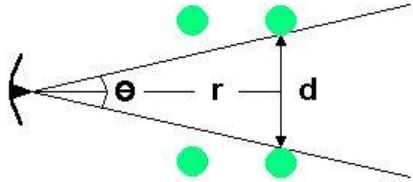

Si la distancia entre dos blancos es menor que la resolución radial, el eco devuelto será continuo y no dos ecos individuales separados por un período sin señal.



# Resolución angular

Se define como la capacidad que tiene el radar para distinguir dos blancos situados a la misma distancia y elevación pero con distintos acimut.

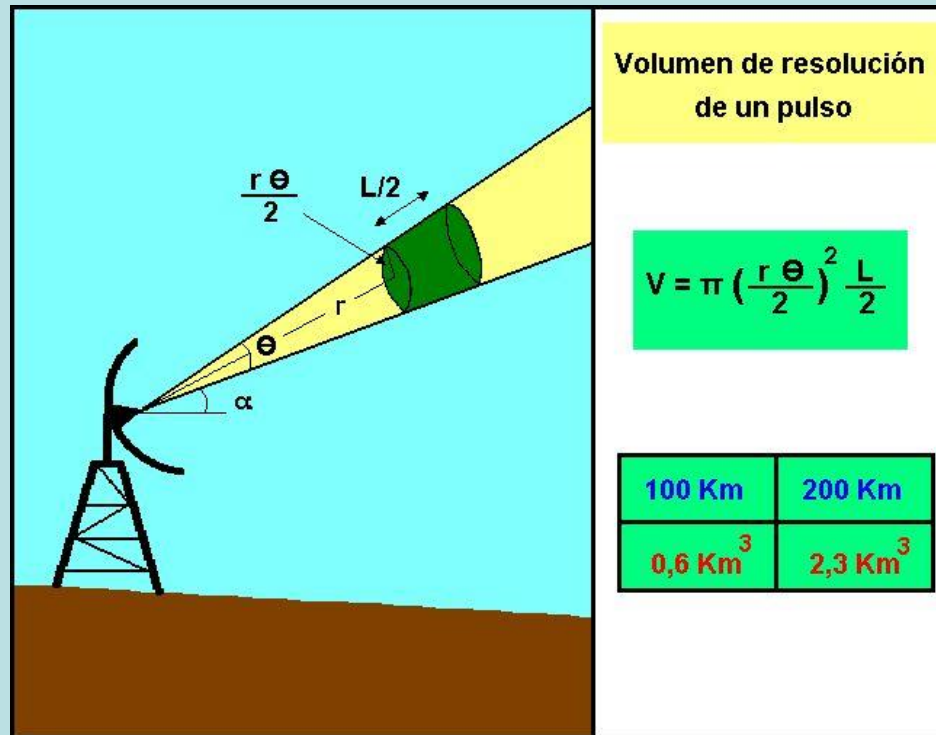
Para distinguir estos dos blancos deben estar separados entre sí más que la abertura del haz

RESOLUCIÓN	ANGULAR ( d )				
	<p data-bbox="1029 732 1319 803"><math>d = 2 r \text{ sen } (\Theta/2)</math></p> <p data-bbox="1068 825 1280 861">Para <math>\Theta = 0,9^\circ</math></p> <table border="1" data-bbox="981 875 1396 982"><thead><tr><th>r</th><th>d</th></tr></thead><tbody><tr><td>100 Km</td><td>1.571 m</td></tr></tbody></table>	r	d	100 Km	1.571 m
r	d				
100 Km	1.571 m				
	<p data-bbox="952 1025 1416 1089">La resolución angular disminuye con la distancia.</p> <p data-bbox="952 1132 1416 1318">Los núcleos de lluvia a grandes distancias aparecen formando sistemas extensos de precipitación. A medida que se acercan al radar, comienzan a identificarse como elementos individuales.</p>				

## Volumen de resolución de un pulso

Es aquél del que provienen las señales recibidas por el radar en un mismo instante y sobre el que la suma determina la intensidad instantánea de la señal.

Este volumen tiene por sección la abertura del haz a la distancia  $r$  y un ancho igual a la semilongitud de un pulso



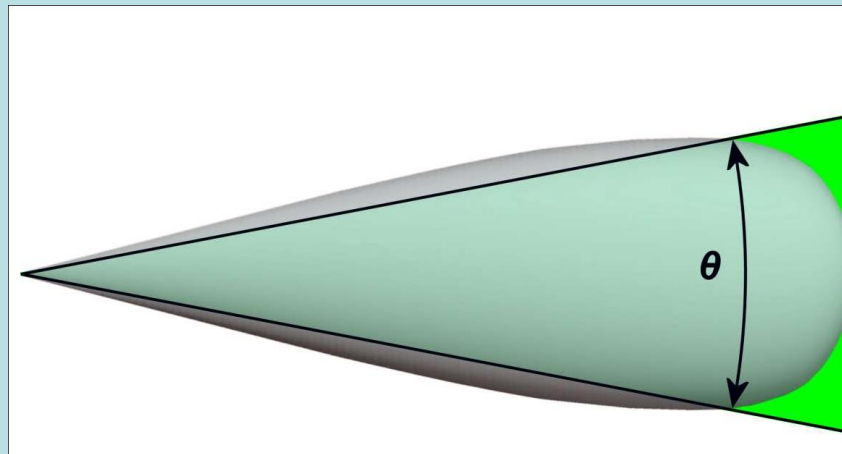
## Anchura del haz

Se define por la fracción del lóbulo principal comprendido entre el eje de la antena y la dirección angular para la cual la energía es la mitad del valor máximo en el eje.

### Radares AEMET

Anchura del haz  $\longrightarrow \theta/2 = 0,45^\circ$

( $\theta$  es el ángulo del lóbulo principal)



$0,9^\circ$

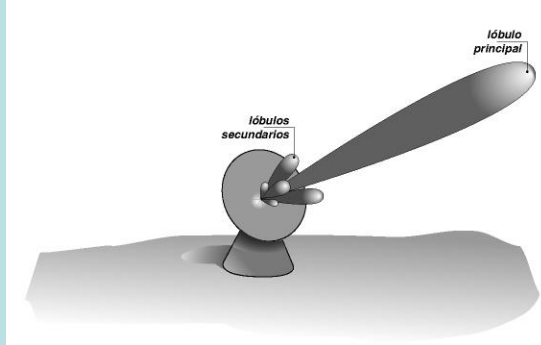


## Lóbulos laterales

Al no ser la focalización de la antena perfecta no toda la energía se emite en la dirección del eje de la antena, sino en todas las direcciones.

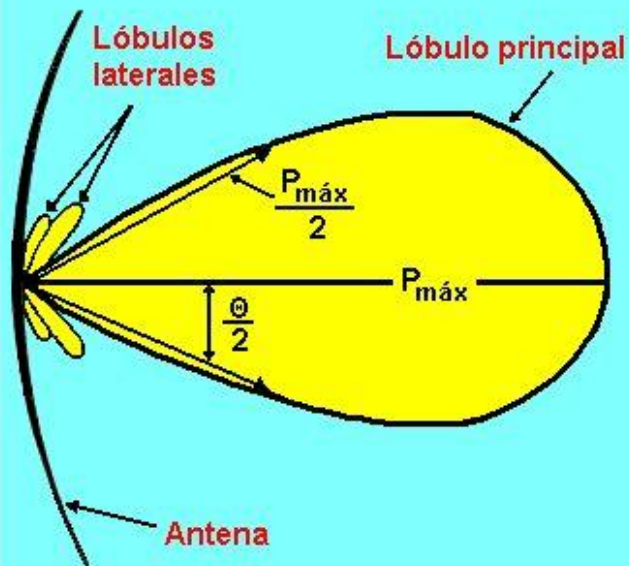
La parte principal de la energía se concentra alrededor del eje de la antena en el llamado lóbulo principal. Más allá de este lóbulo aparecen nuevos máximos secundarios que son los denominados lóbulos laterales

Normalmente la densidad de potencia de un lóbulo lateral no supera el 1% de la del lóbulo principal y la suma de todos los lóbulos laterales no alcanza el 2% ó 3% del total de la energía emitida



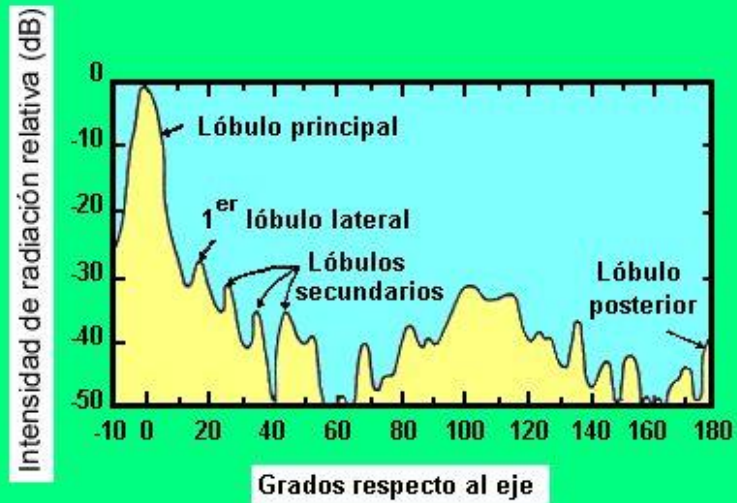
## LÓBULOS PRINCIPAL Y LATERALES

(Collier, 1989)



## INTENSIDADES DE RADIACIÓN RELATIVAS A LA DEL LÓBULO PRINCIPAL

(Collier, 1989)



## 4.- Tipos de radares meteorológicos

## 1.- RADAR DE BANDA S:

- Frecuencia: 2-4 GHz.
- Longitud de onda: 8-15 cm.
- Localización de blancos con precisión en amplios rangos de distancia (0 – 240 km).
- Ventajas:** bastante buena resolución angular, bajo nivel de ruido y sufren muy poca atenuación.
- Desventajas:** para conseguir sus mejores prestaciones necesitan radomos y reflectores de grandes dimensiones. Precio elevado.



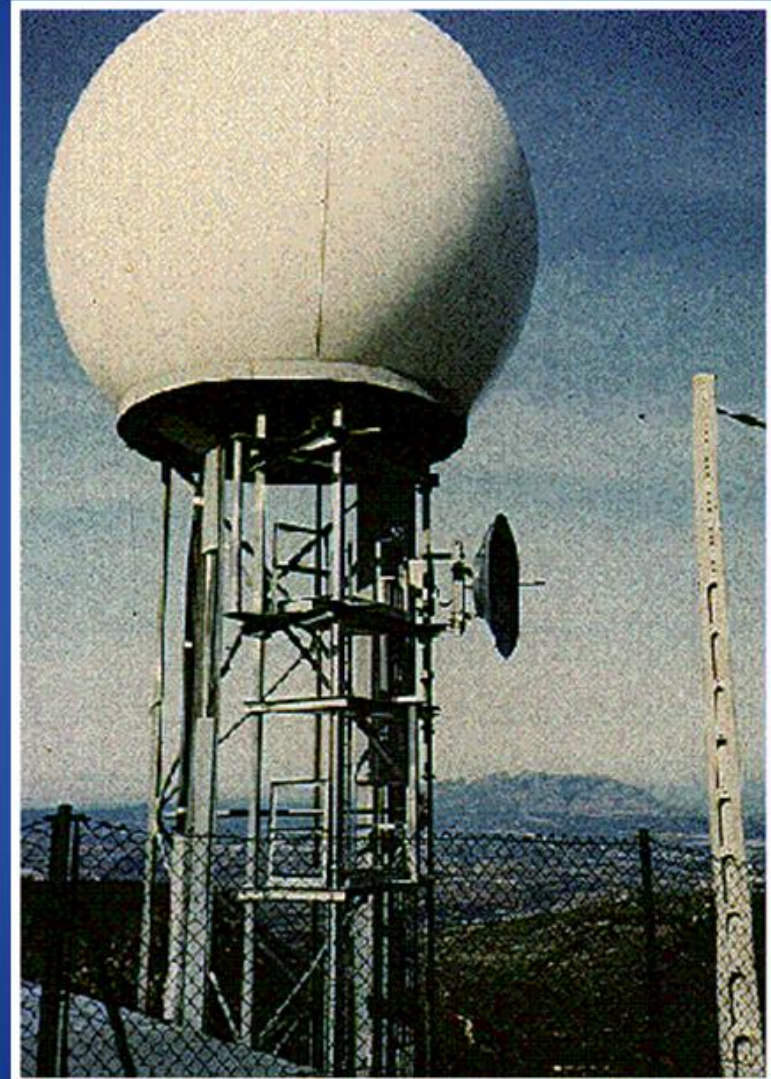
Radars de banda S del Marshall radar Observatory (MRO), en Montreal, Canadá, con un disco de unos 10 m de diámetro



Vista interior del radar de banda S del NSSL donde es posible observar el radomo y el reflector (o disco) de unos 9 m de diámetro

## 2.- RADAR DE BANDA C:

- Frecuencia: 4-8 GHz.
- Longitud de onda: 4-8 cm.
- Muy útil en rangos intermedios (0-120 km).
- **Ventajas:** buena resolución angular, pequeño tamaño del disco (portabilidad). Precio.
- **Desventajas:** Mayor atenuación que la banda S.



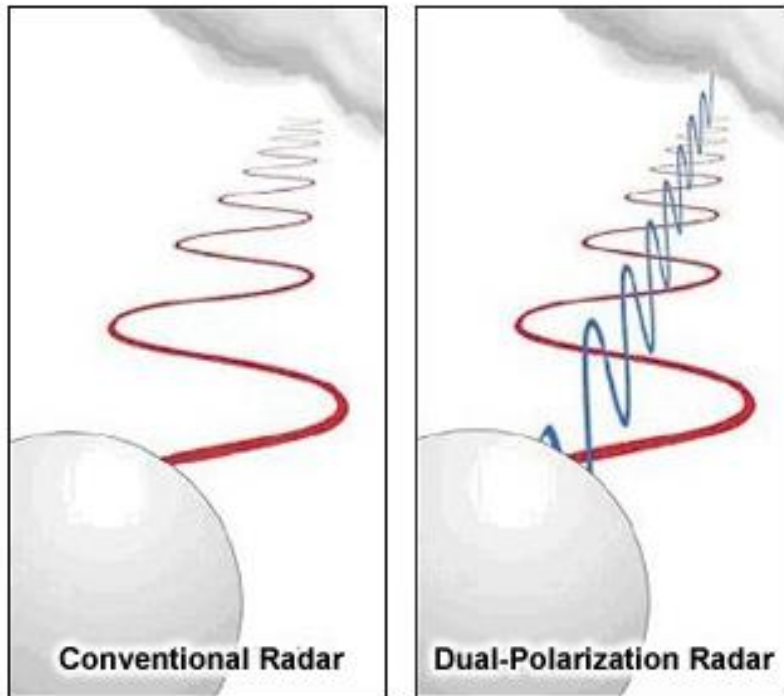
### 3.- RADAR DE BANDA X:

- Frecuencia: 8-12,5 GHz.
- Longitud de onda: 2,5-4 cm.
- Muy útiles sólo a corta distancia (< 60 km).
- Ventajas: Haces estrechos y muy buena resolución, detección de partículas pequeñas, investigación. Tamaño, precio.
- Desventajas: atenuación muy alta.

### 4.- RADAR DE BANDA K:

- Frecuencia: 12,5-40 GHz.
- Longitud de onda: 2,5-0,8 cm.
- El resto, id. Banda X.





NOAA

Los radares polarimétricos también emiten y reciben energía en la dirección vertical, proporcionando más información de los blancos atmosféricos.

Radar polarimétrico, permite a los predictores:

- Identificar blancos no meteorológicos con mayor facilidad
- Diferenciar lluvia y nieve
- Detectar si hay granizo en una tormenta
- Detectar el polvo del suelo de los tornados intensos

# 5.- Ecuación del radar. Reflectividad



# Ecuación del radar

Expresa la relación entre la intensidad media de la señal recibida y las propiedades del volumen difusor o del blanco puntual situado a una distancia  $r$ , en función de las características técnicas del radar y de las condiciones de propagación entre el radar y el blanco.

$$\bar{P}_r = C \quad L^2 \quad |K|^2 \frac{Z}{r^2}$$

radar      medio      blanco

**C:** constante relacionada con el radar

**L:** relacionada con la atenuación producida por los gases, nubes y precipitación que existe entre el radar y el blanco

**|K|:** constante dieléctrica del blanco (relacionada con el índice de refracción y su coeficiente de absorción)

**Z:** Reflectividad y está relacionada con el tamaño y la distribución de las partículas

**r:** distancia del blanco

$$\bar{P}_r = P_t \frac{G^2 \lambda^5}{(4\pi)^3 r^4 \lambda^2} |K|^2 \Sigma D^6$$

$D = 2r$  (diámetro de las gotitas)

## LA POTENCIA MEDIA RECIBIDA DEPENDE DE:

- **Parámetros del radar** (Potencia transmitida, longitud de onda de trabajo, ganancia de antena,...)
- **Dos factores que únicamente dependen de los blancos:**
  - El valor de  $|K|^2$  (Constante dieléctrica del blanco)
  - La magnitud  $Z = \Sigma D^6$  (Reflectividad)



Como el rango de valores energéticos es muy amplio se suele usar una escala decibélica:

Así, la potencia recibida queda relacionada con el factor de reflectividad  $Z$  [ $\text{mm}^6/\text{m}^3$ ], por

$$10 \log P_r = 10 \log Z - 20 \log r + C$$

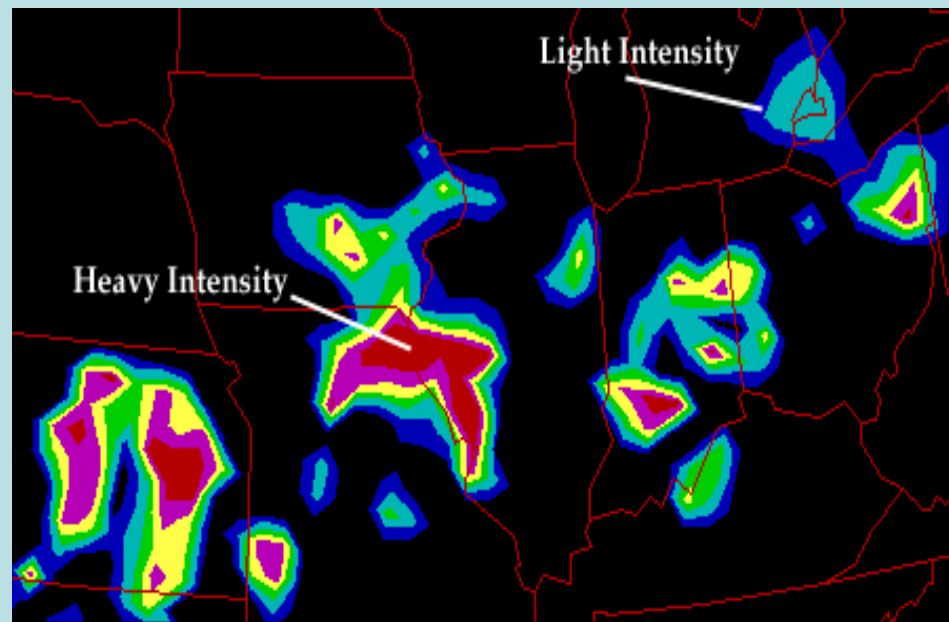
Cuantos más blancos se intercepten, mayor será la señal, pues la señal combinada será integrada

Gotas de gran tamaño producirán una señal mayor que gotas de pequeño radio.

# REFLECTIVIDAD

Lo que realmente se representa en las terminales radar es una magnitud llamada Reflectividad (Z)

$$Z = \sum_v D^6 = \int N(D) D^6 dD$$



Los colores son una manera de representar diferentes valores de REFLECTIVIDAD

(En escala logarítmica)

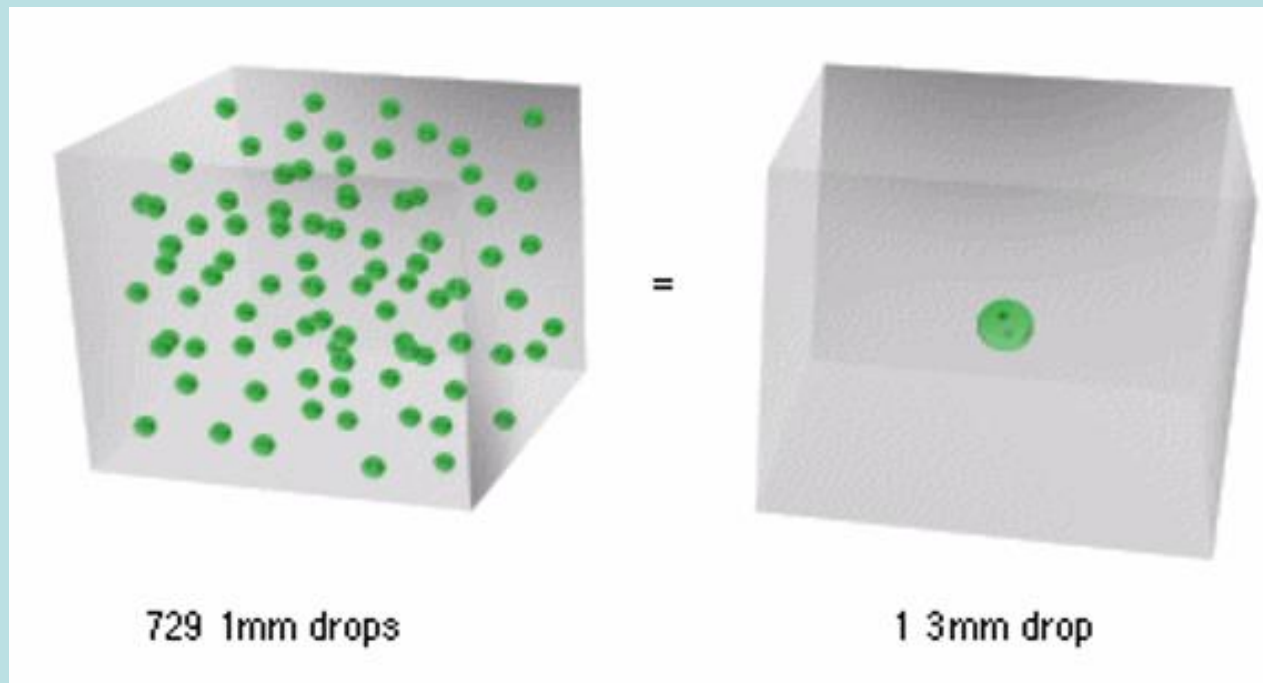
Los radares meteorológicos ( bandas X, C y S) están diseñados para detectar “partículas del tamaño de gotitas de precipitación, en la atmósfera”.

**La reflectividad o eficiencia de devolver esa energía depende de (¡¡y por este orden!!):**

- ✓ El tamaño de las partículas, ( $D^6$ )
- ✓ Concentración de partículas de precipitación,  $N(D)$
- ✓ El estado de la pcp (K): líquida (gotitas de agua), sólida (granizo seco, nieve)
- ✓ Forma: redondeada, obloide, plana

## Ejercicio:

Comprobar que un volumen de  $1 \text{ m}^3$  conteniendo 1 gota de 3 mm tiene la misma reflectividad que si contuviera 729 gotas de 1 mm (o 467000 gotas de 0,5 mm)



Reflectividades equivalentes

729 gotas de 1 mm y 1 gota de 3 mm

$$Z = \sum_v D^6$$

$$Z_{1\text{gota}3\text{mm}} = 3^6 = 729 \text{ mm}^6\text{m}^{-3}$$

$$Z_{729\text{gotas}1\text{mm}} = 729 \cdot 1^6 = 729 \text{ mm}^6\text{m}^{-3}$$

$$Z_{46700\text{gotas}0.5\text{mm}} = 46700 \cdot 0.5^6 = 729 \text{ mm}^6\text{m}^{-3}$$

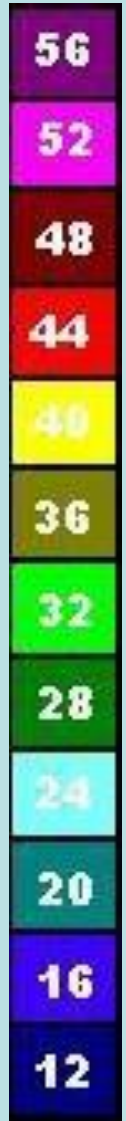
Esa reflectividad en dBZ sería 10.  $\text{Log } 729 = 29 \text{ dBZ}$

La sexta potencia implica cómo destaca la reflectividad de gotas grandes, aunque sean pocas...

# ESCALA DE REFLECTIVIDAD

Teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento del radar, su capacidad y sensibilidad de detección, se ha establecido un umbral mínimo de presentación de datos que por un lado no sature la pantalla de información y por otro que discrimine convenientemente las estructuras meteorológicas que nos interesan.

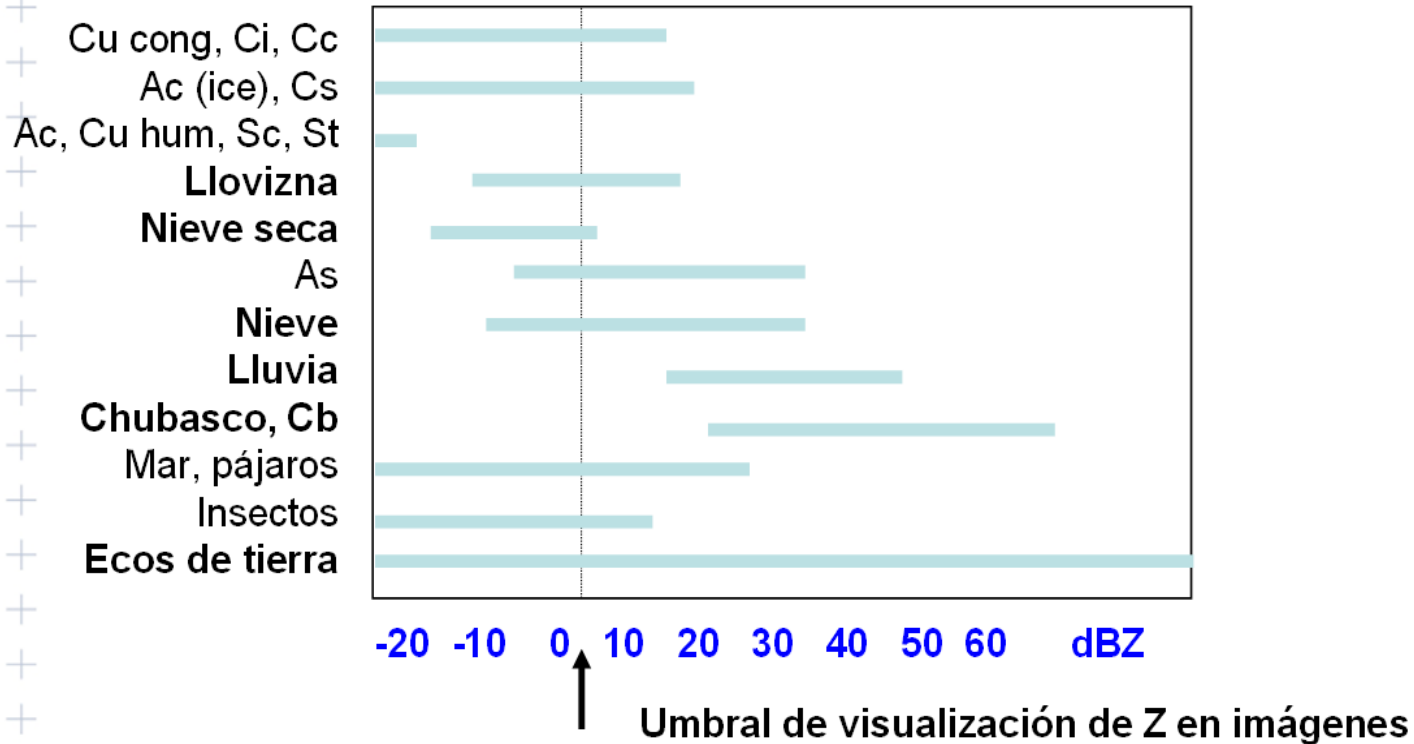
Para los radares de AEMET este umbral está establecido en 12 dBz.



dB Z



## Valores “orientativos” de Z, en dBZ, de varios fenómenos/blancos para un radar ideal



¿El Sol,  
Nubes de polen,  
Otros radares  
Granizo seco  
Granizo húmedo  
Parques eólicos?

# REFLECTIVIDAD E INTENSIDAD DE PRECIPIT.

$$Z = \sum_v D^6 = \int N(D) D^6 dD$$

donde el subíndice  $v$  significa que la suma debe extenderse a la unidad de volumen y  $N(D) dD$  es el número de difusores por unidad de volumen con diámetros comprendidos entre  $D$  y  $D+dD$ .

**Marshall y Palmer (1948)** tras una serie de observaciones encontraron que la distribución por tamaño de las gotas, excepto para tamaños muy pequeños, puede expresarse aproximadamente así:

$$N(D) = N_0 e^{-\Lambda D}$$

donde  $N(D) dD$  es el número de gotas por unidad de volumen cuyos diámetros están comprendidos entre  $D$  y  $D + dD$ .

$\Lambda$  depende tan sólo de la intensidad de precipitación  $R$

$$Z = \sum_v D^6 = \int N(D) D^6 dD$$

$$N(D) = N_0 e^{-\Lambda D}$$

$$\Lambda(R) = 4,1 R^{-0.21} \quad [\text{mm}^{-1}]$$

De acuerdo con la definición que hemos dado en el apartado anterior  $Z$  está relacionada con la distribución de tamaños de las gotitas, y utilizando la relación de Marshall-Palmer, resulta que:

En este caso, se puede demostrar que existe una relación entre la Intensidad de Precipitación  $R$  [mm/hora] y la Reflectividad  $Z$  [ $\text{mm}^6/\text{m}^3$ ] que es de la forma

$$Z = a R^b$$

$$Z = a R^b$$

La relación empírica que liga la reflectividad y la intensidad de precipitación que normalmente se usa más es  $Z=200 R^{1.6}$ , aunque relaciones Z-R hay tantas como investigadores y además, en el fondo, no son lo más importante a la hora de deducir la precipitación a partir de los datos de reflectividad del radar.

a y b son constantes que se determinan experimentalmente.

La precisión de la conversión de Z en R requiere un conocimiento exacto de la distribución por tamaños de las gotas y de la velocidad vertical del viento que varían tanto en el espacio como en el tiempo. Por consiguiente, no pueden obtenerse simples relaciones Z-R que den resultados precisos para cada situación.

## EJEMPLOS DE RELACIONES Z/R

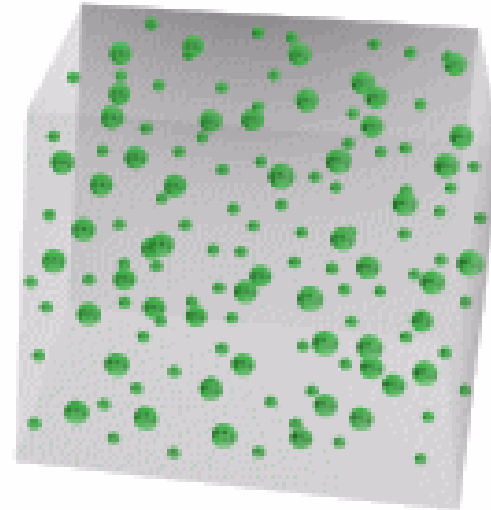
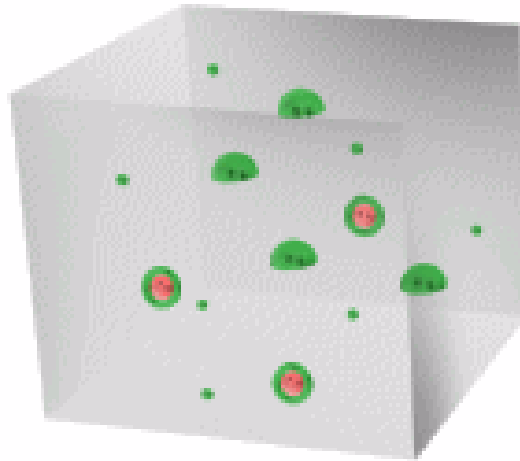
Habrá una relación Z/R empleada según cada tipo de precipitación.

**La opción lluvia, la más utilizada, es la relación de Marshall-Palmer**

	Llovizna	Lluvia	Chubasco
a	50	200	800
b	1,6	1,6	1,6

Ejemplos de valores de a, b

Equivalent Reflectivity



Greater  
Rainrate

Reflectividades equivalentes / Distintas intensidades de pcp

## Ejercicio:

Intensidad de precipitación para la nieve.

La relación Z-R más habitual es la relación de Marshall-Palmer:

$Z = 200 R^{1,6}$  que es buena para uso general, pero no para la nieve.

Para la nieve se puede utilizar la relación  $Z = 2000 R^2$

Supongamos que el radar marca en un pixel,  $Z=45$  dBZ.

**Calcular las intensidades de precipitación R:**

- Caso general, y
- Caso de nieve.

$$Z = aR^b ; 10\log Z = 10\log(aR^b)$$

$$R (\text{mmh}^{-1}) = 10^{\frac{\frac{Z(\text{dbZ})}{10} - \log a}{b}}$$

Marshall-Palmer :  $a = 200$ ,  $b = 1.6$  ; sustituyendo  $R (Z=45 \text{ dBZ})_{MP} = 23.7 \text{ mm/h}$

Nieve:  $a = 2000$ ,  $b = 2$ ; sustituyendo  $R (Z=45 \text{ dBZ})_{nieve} = 4 \text{ mm/h}$



## **BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN:**

- **Curso de radar de Juan Pablo Álvarez Alonso (AEMET)**
- **Radar Research and Development Dept. NSSL (EEUU)**
- **Rafael Sánchez-Diezma (Tesis, 2001) de la UPC**
- **Radar Dept. McGill University (Canada)**
- **Curso de radar de Francisco Martín León (AEMET)**
- **Curso de radar de Ismael San Ambrosio (AEMET)**
- **Curso de radar de Manuel Lara (AEMET)**
- **Módulos COMET (NCAR)**
- **NWS (USA)**
- **[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/home.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/home.rxml)**

PIB-M. FASE PRESENCIAL. 2023  
RADARES

## 2.- EXPLORACIÓN RADAR Y REDES DE RADARES

Jesús Riesco Martín.  
jriescom@aemet.es

## ÍNDICE TEMÁTICO

- 1.- Propagación normal del haz del radar
- 2.- Tácticas de exploración radar
- 3.- Características de la red de radares de AEMET
- 4.- Volumen Polar y Volumen Cartesiano

# 1.- Propagación normal del haz del radar

# ¿Cómo se propaga el haz?

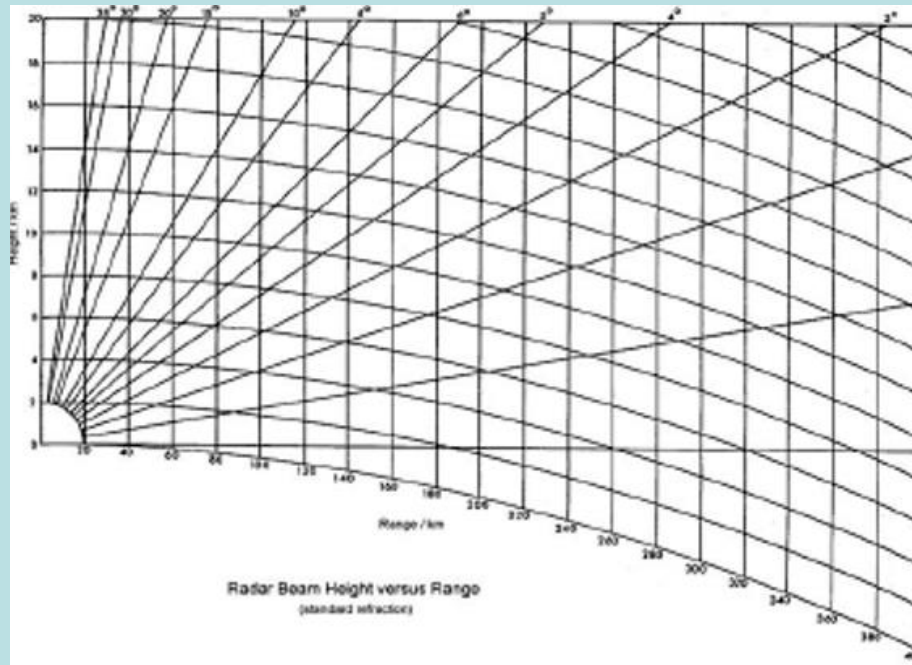
- En el vacío las ondas se propagan en línea recta y a una velocidad  $c = 300.000 \text{ km/s}$
- En la atmósfera las ondas no se propagan en línea recta y, a menudo, **el haz emitido por el radar se curva hacia tierra**. Esto es debido al **índice de refracción**: dado un perfil de cómo va cambiando dicho índice a lo largo de una zona atmosférica, se puede calcular perfectamente la trayectoria a seguir por el haz.

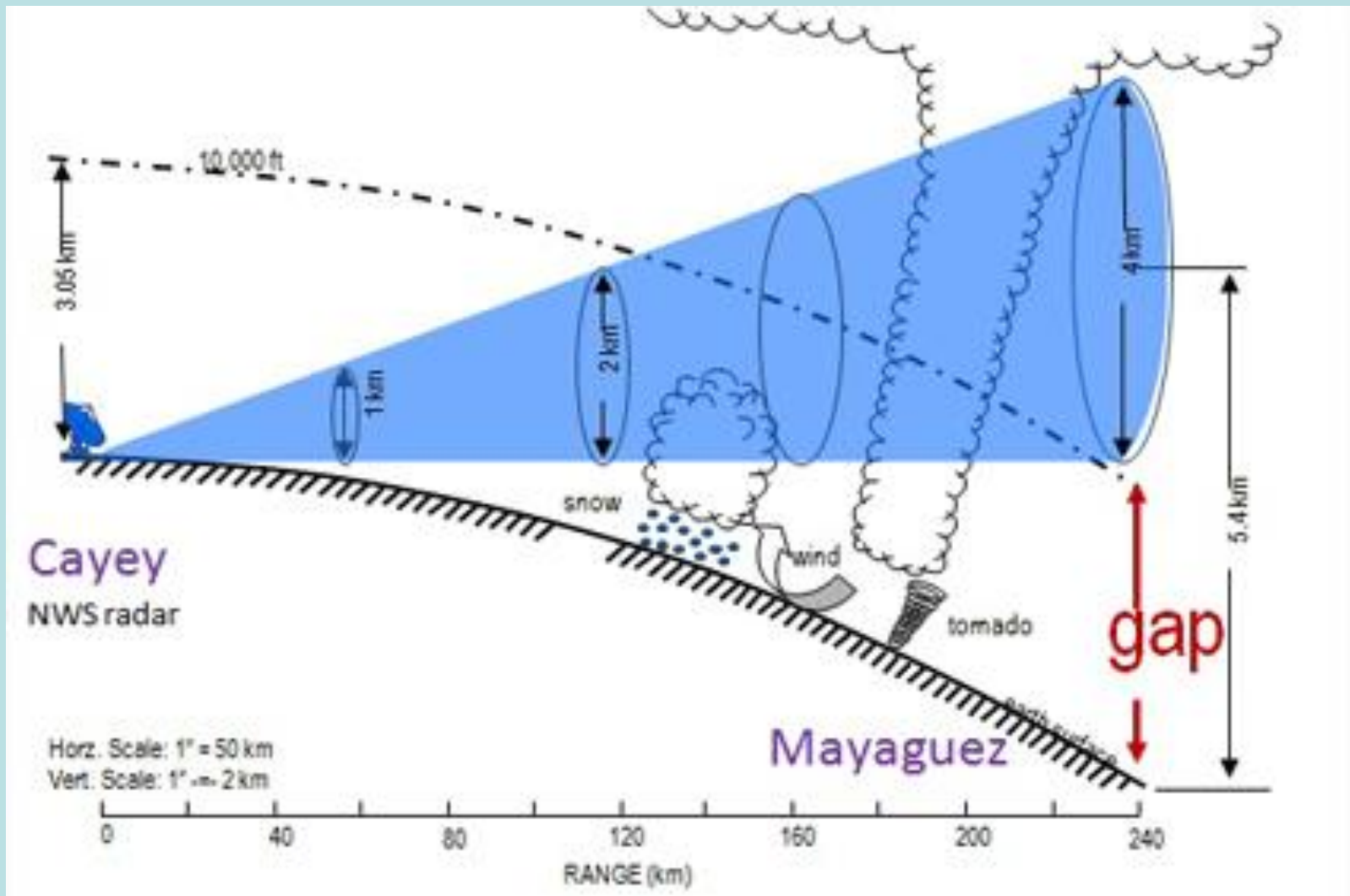
$$\text{trayectoria} = f(n)$$
$$n = n(h)$$

# Propagación normal

Cuando en la atmósfera la humedad, temperatura y presión sólo dependen de la altitud, decimos que las condiciones de propagación son normales o standard.

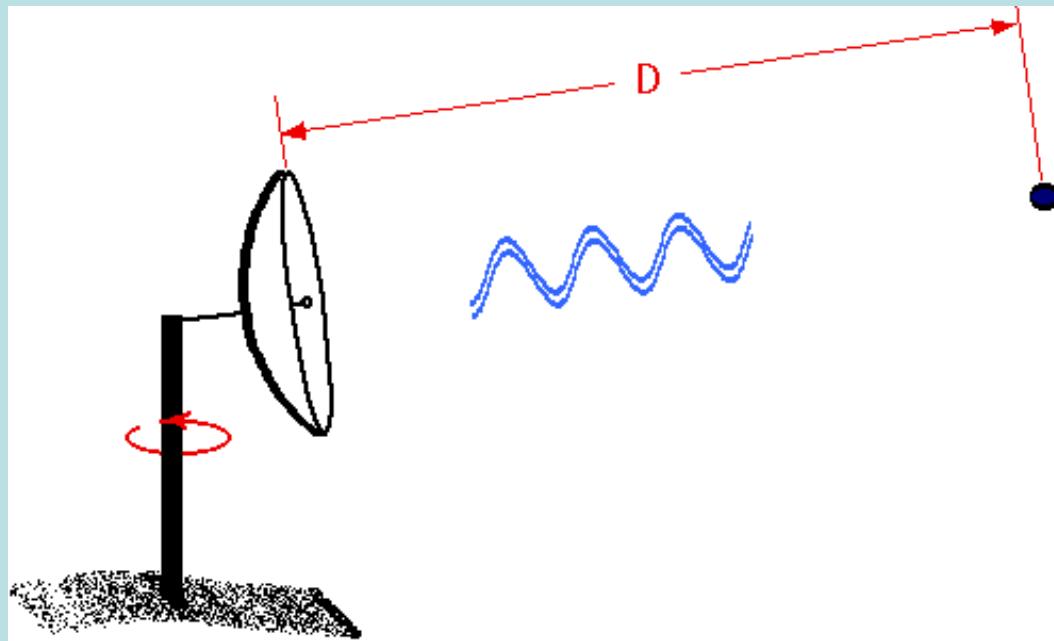
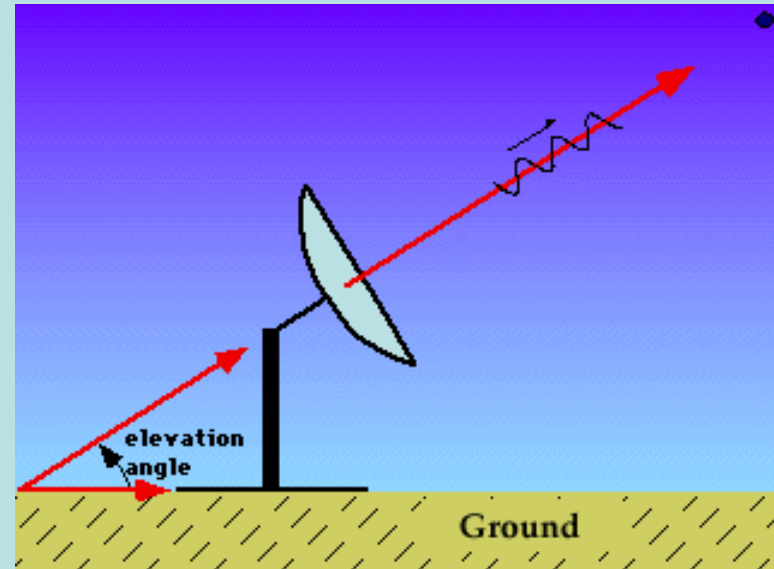
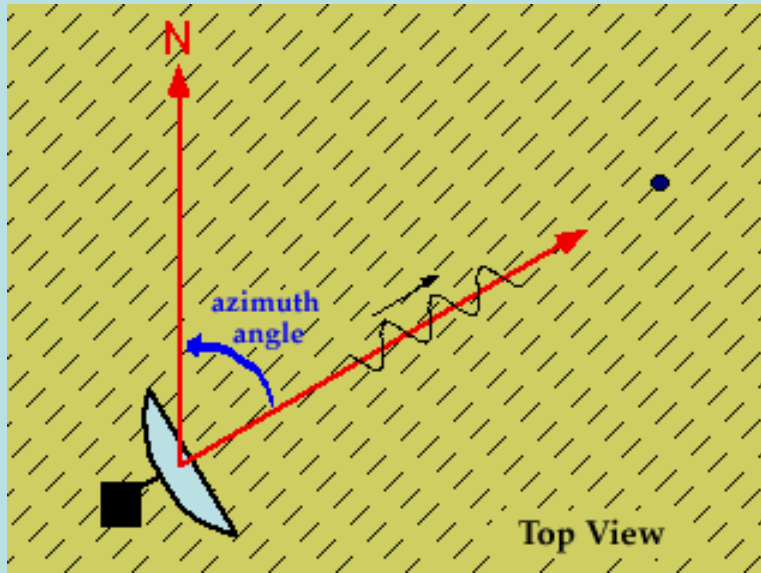
**El haz del radar se propaga según una trayectoria curva pero con menos curvatura que la superficie terrestre,**



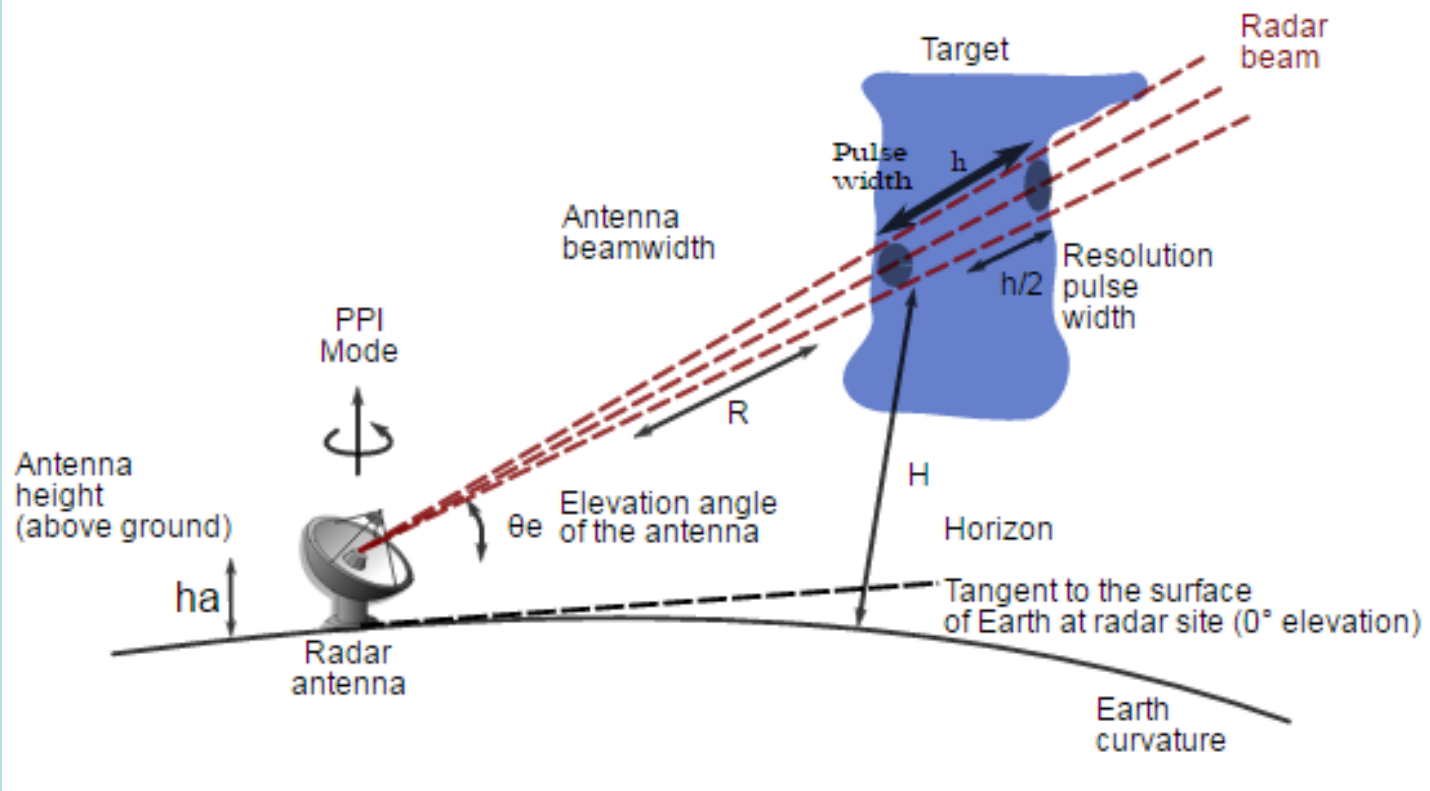


El haz del radar se curva menos que la curvatura de la tierra

# Localización del blanco







$$H = \sqrt{r^2 + (k_e a_e)^2 + 2rk_e a_e \sin(\theta_e)} - k_e a_e + h_a,$$

where:

$r$  = distance radar–target,

$k_e = 4/3$ ,

$a_e$  = Earth radius,

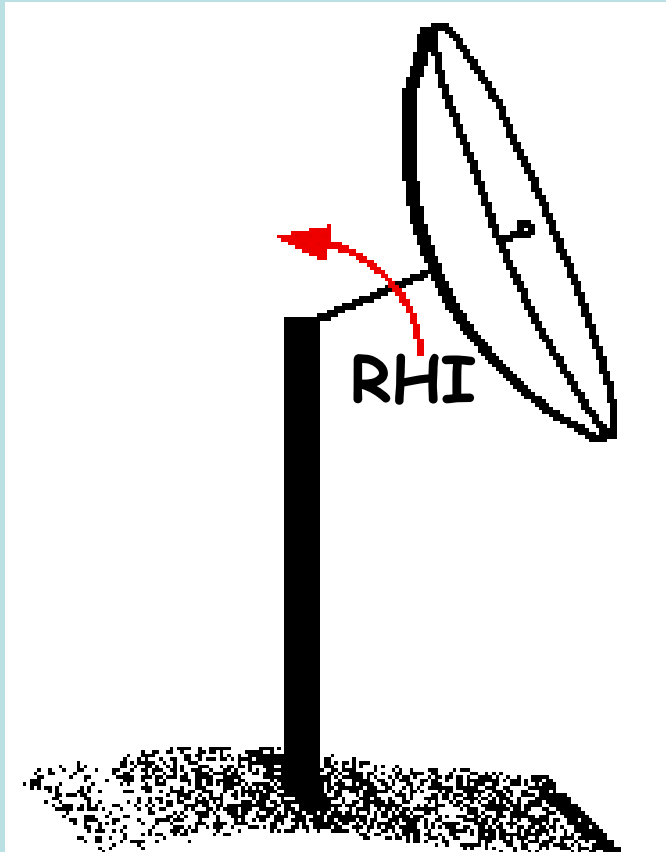
$\theta_e$  = elevation angle above the radar horizon,

$h_a$  = height of the feedhorn above ground.

Mediante cálculos (software), se puede estimar la posición de los ecos (en altura, azimut y distancia)

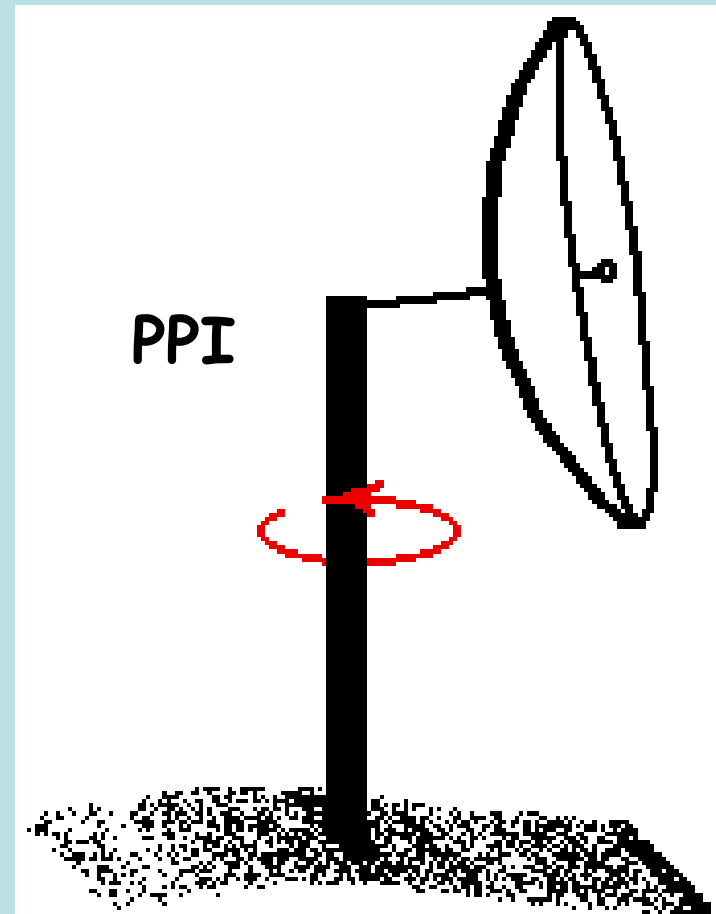
## 2.- Tácticas de exploración radar

## Modos de exploración del radar

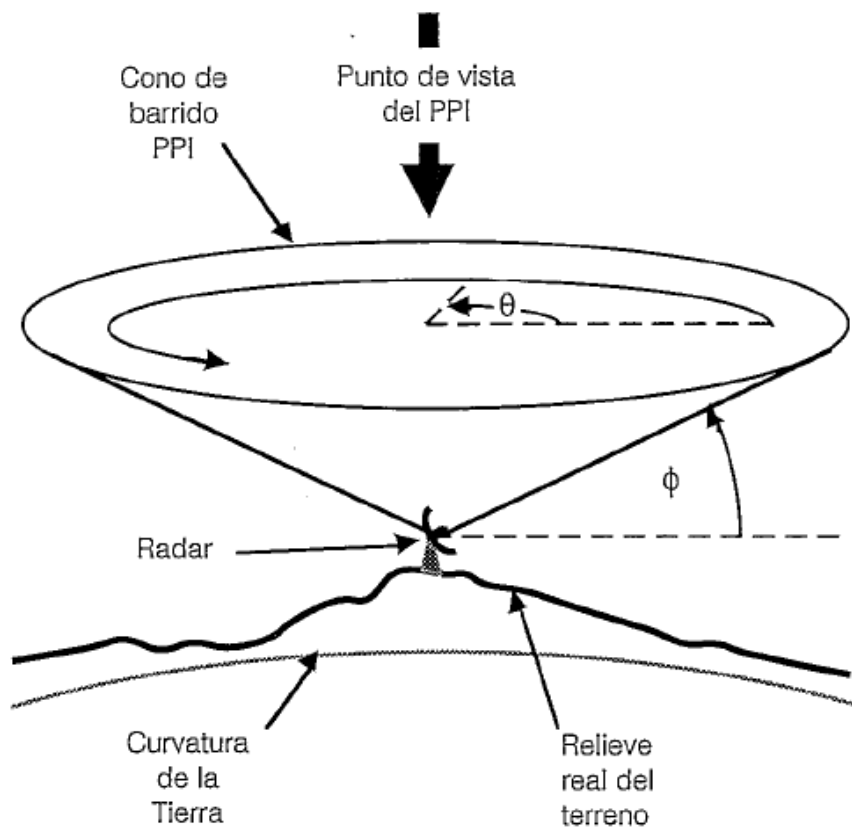


Range Position Indicator  
**Exploración en corte vertical (RHI)**, manteniendo la antena a un azimut fijo y variando el ángulo de elevación de la antena.

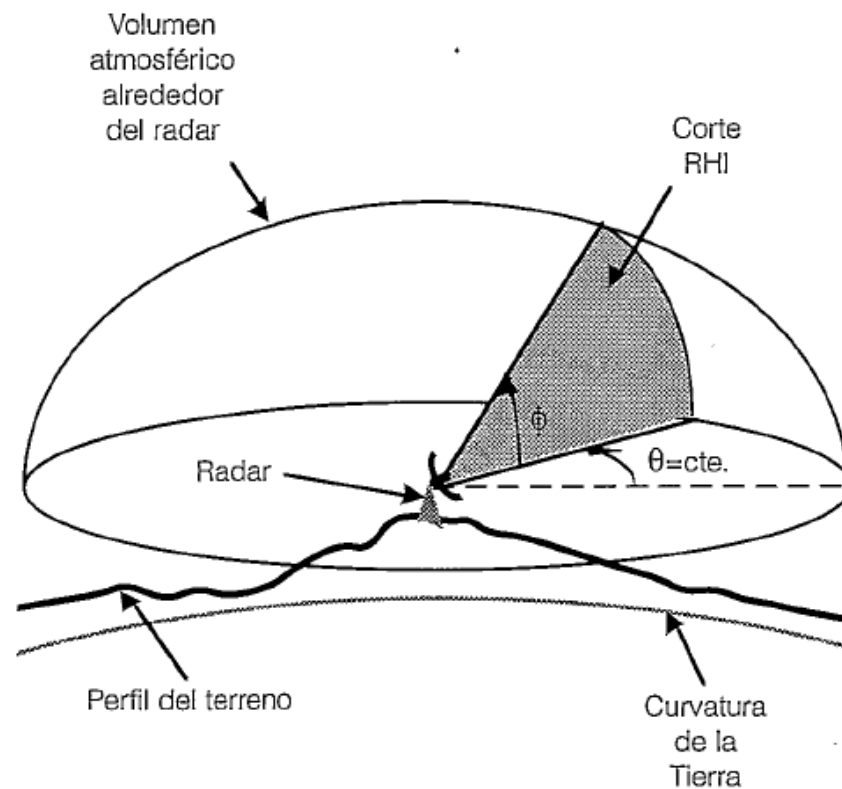
Plan Position Indicator  
**Exploración a elevación fija (PPI)**, la antena rota en azimut una vuelta completa manteniendo fijo su ángulo de elevación.

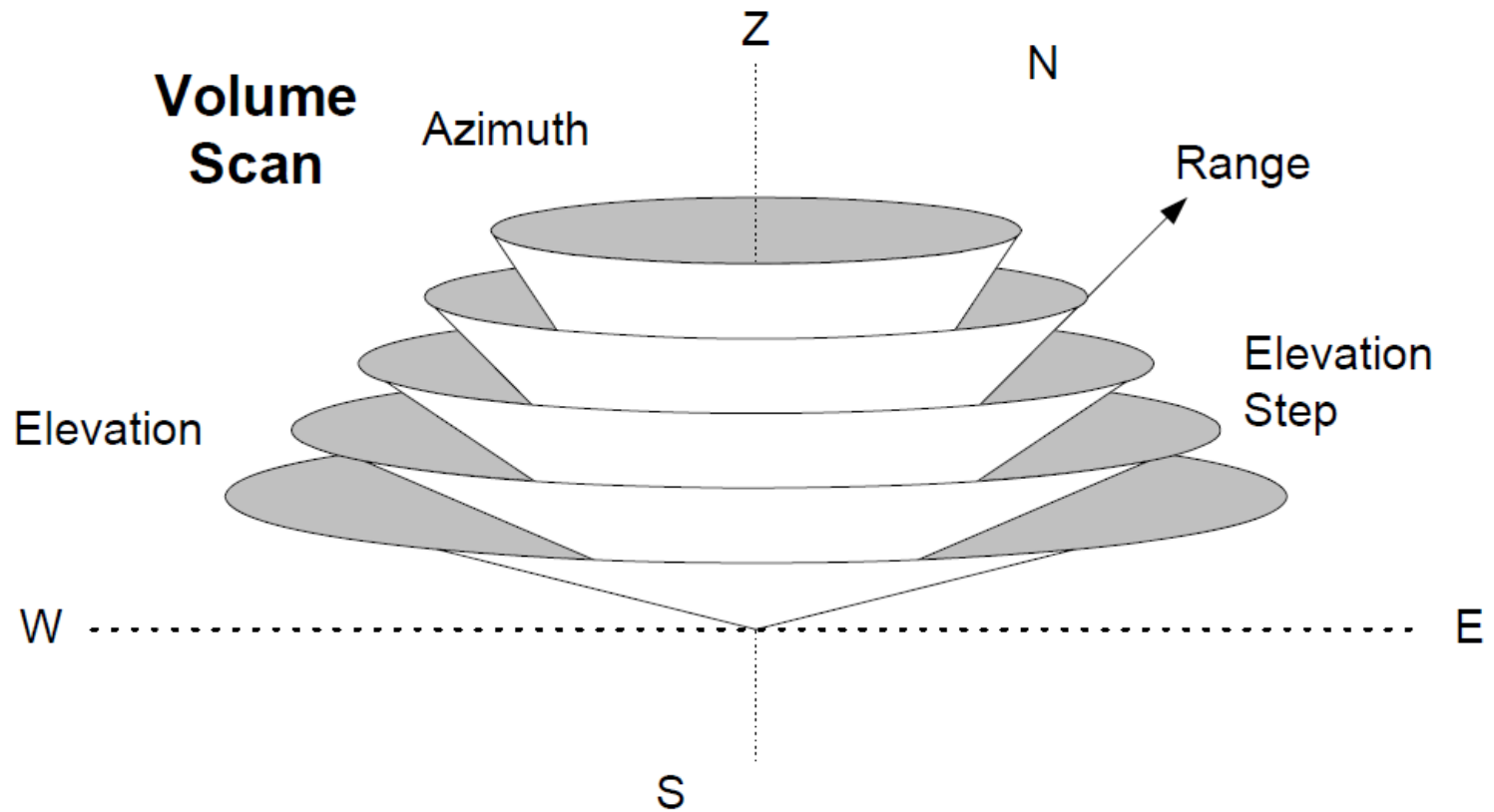


# PPI



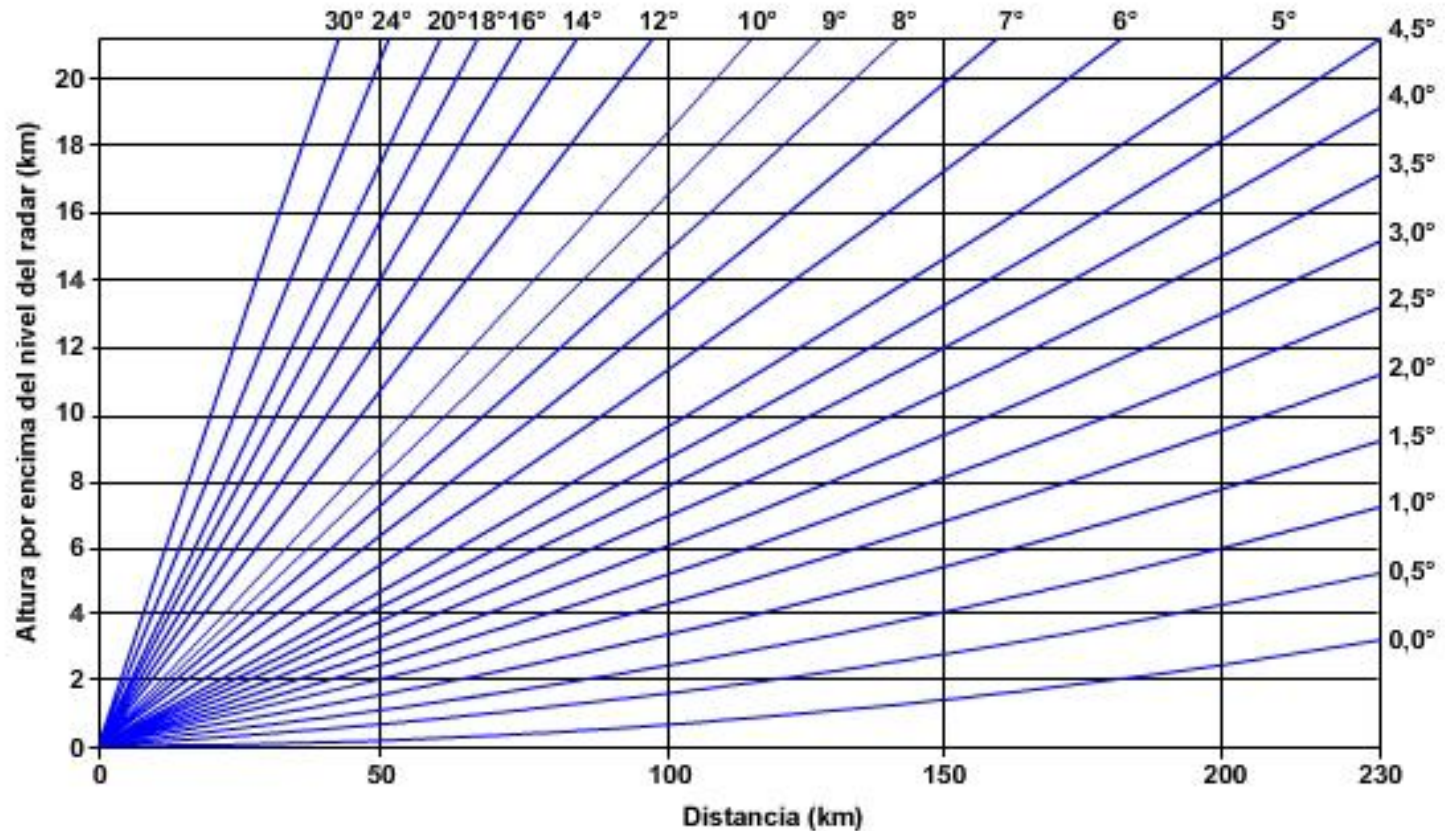
# RHI





**Exploración volumétrica (Volumen polar):**  
consta de varias exploraciones tipo PPI, a distintas elevaciones.

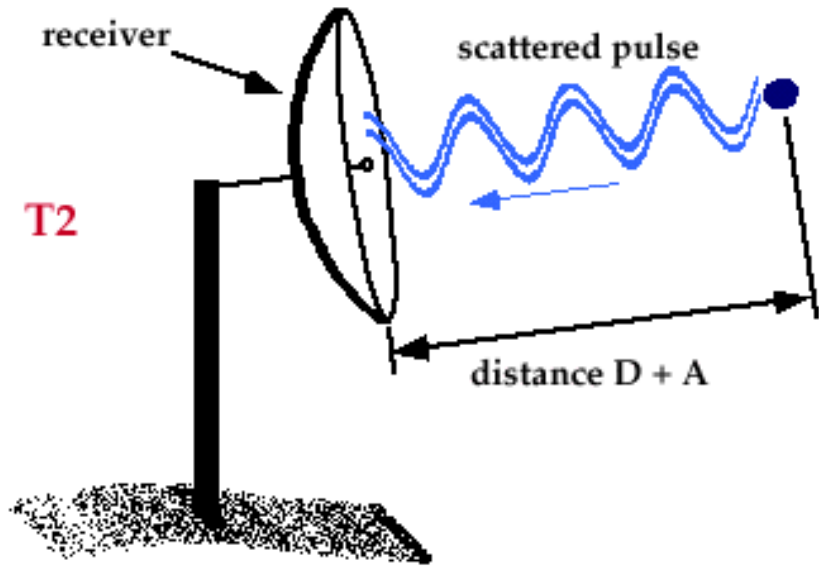
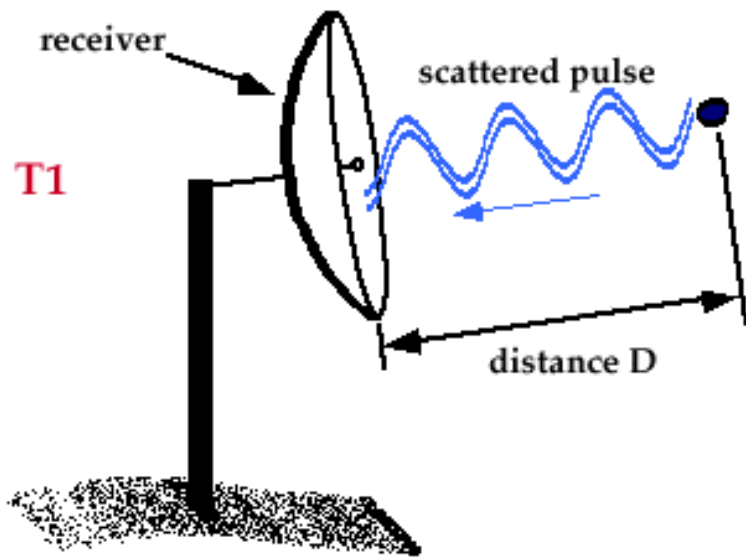
Altura del muestreo por encima del suelo en función de la distancia



NOAA/WDTB

Para un observador sobre la superficie terrestre (considerando la tierra plana), el haz se va elevando con la altura.

Elevaciones a distintos ángulos en la vertical.



## Blanco móvil y efecto doppler.

Efecto doppler: La distancia del blanco respecto al radar ha variado entre T1 y T2, y por tanto la longitud de onda devuelta es distinta de la emitida. Y esto permitirá estimar la velocidad de movimiento del blanco respecto al radar.

# Estrategia de observación

El radar opera automáticamente, repitiendo cada cierto tiempo una serie de exploraciones (barrido)

Ciclo: tiempo que transcurre entre el inicio de dos secuencias consecutivas.

La estrategia de observación viene dada por:

- La secuencia de exploraciones
- Los parámetros de cada exploración
- La duración del ciclo



### 3.- Características de la red de radares de AEMET

# RED DE RADARES DE AEMET



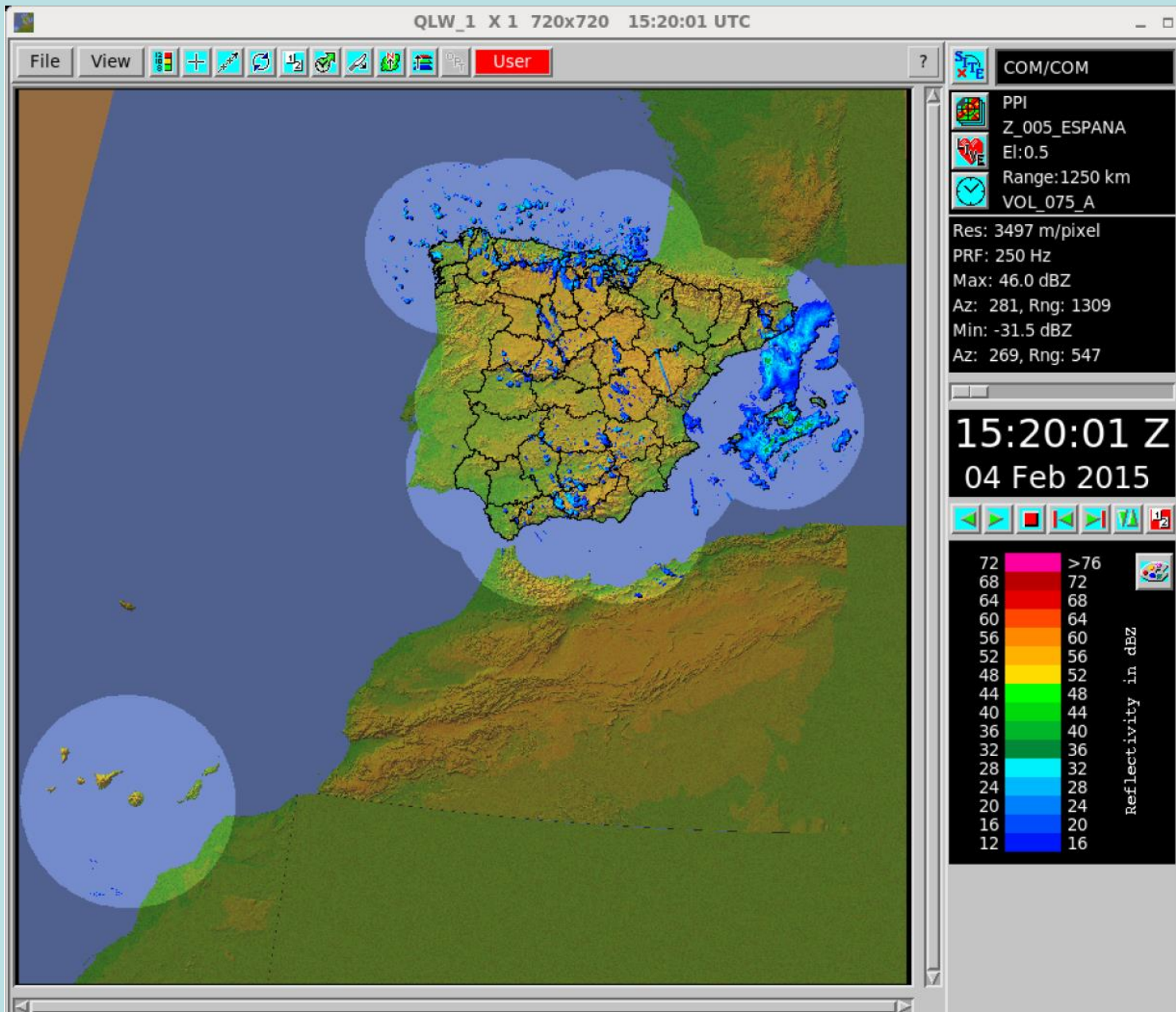
- La red de radares del INM fue proyectada en torno a 1985, consta de 15 radares.
- El primer radar, el de Autilla del Pino (Palecia), entró en operación en 1989.
- El último radar en ponerse en servicio fue el de Mallorca, y lo hizo ya dentro del proyecto de modernización, en 2007.
- El fabricante de los radares fue ERICSSON, operaban en modo normal y doppler.
- Originalmente unos eran de banda S y otros de banda C, dependiendo de su ubicación. Posteriormente, en torno a 1998, los radares de banda S se cambiaron a banda C.

Actualmente: fase renovación: polarización dual. Introducción radares banda X



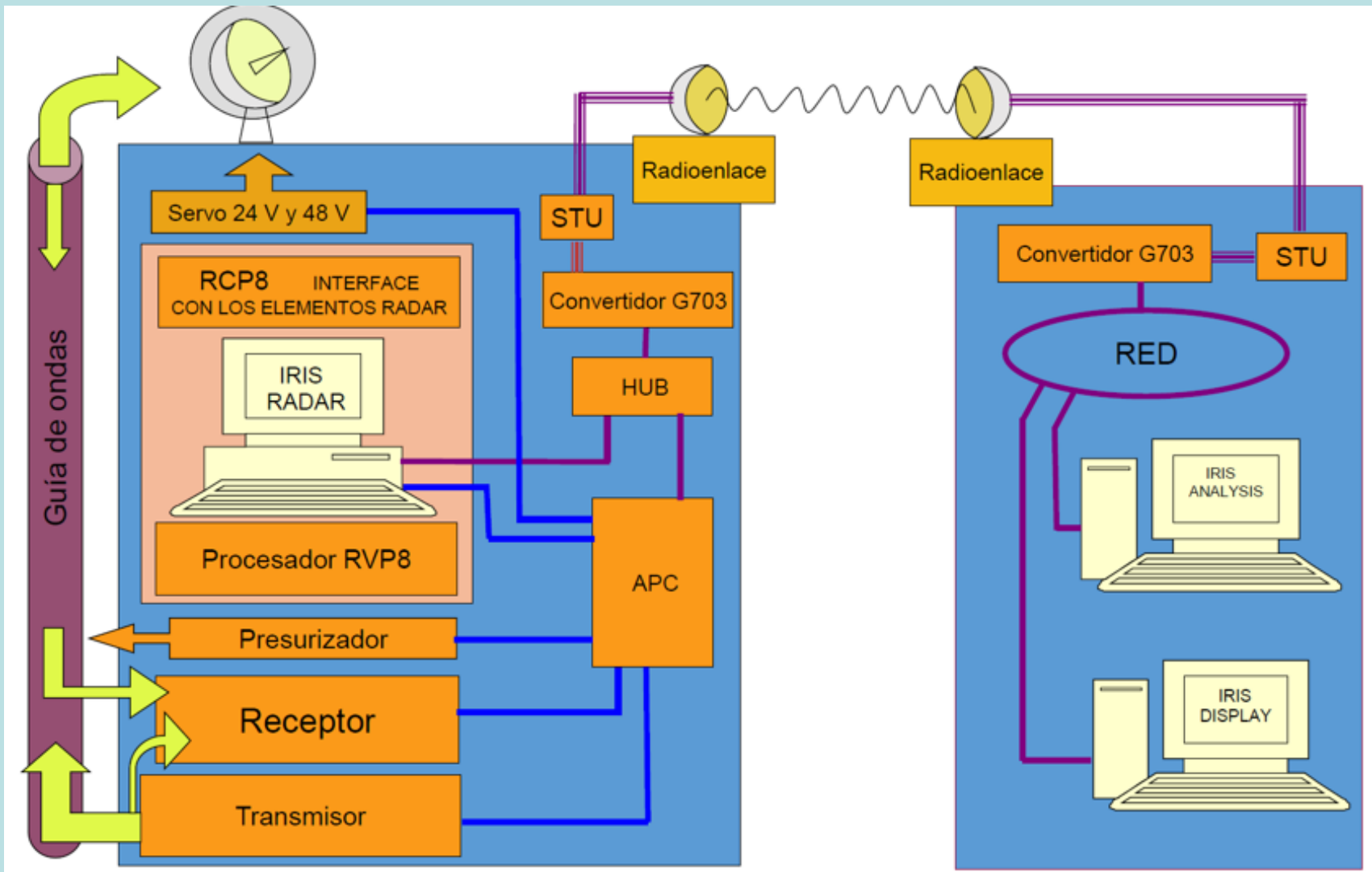
Radar de Madrid

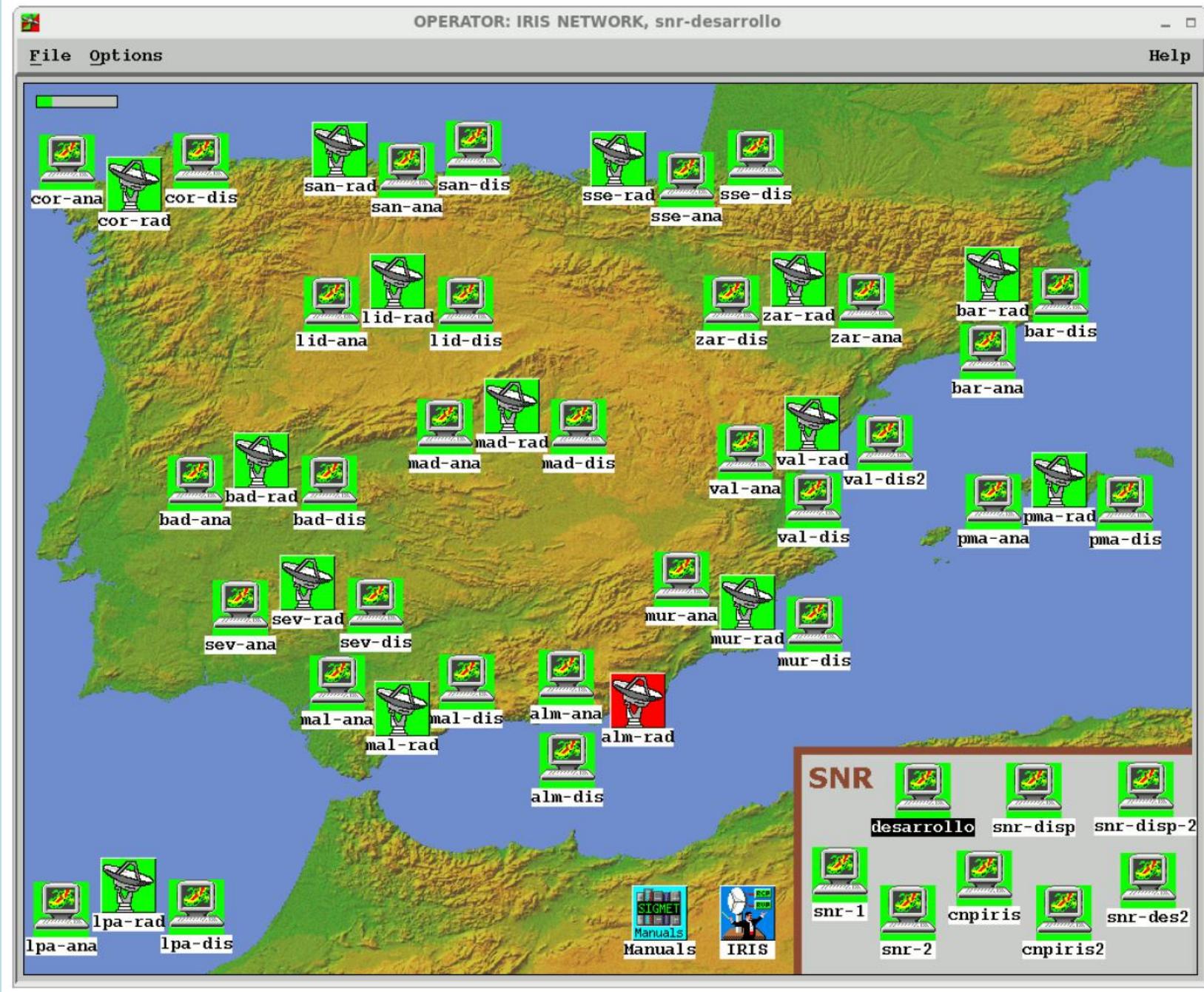
Rango corto: 1x1 km (240 km)  
Rango corto: 0,5 x 0,5 km (120 km)  
Modo doppler  
Ciclo: 10'



Red de radares de AEMET. Composición de PPI de reflectividad.

# Configuración del sistema regional radar





IrisNet. Utilidad para control del sistema de radares.

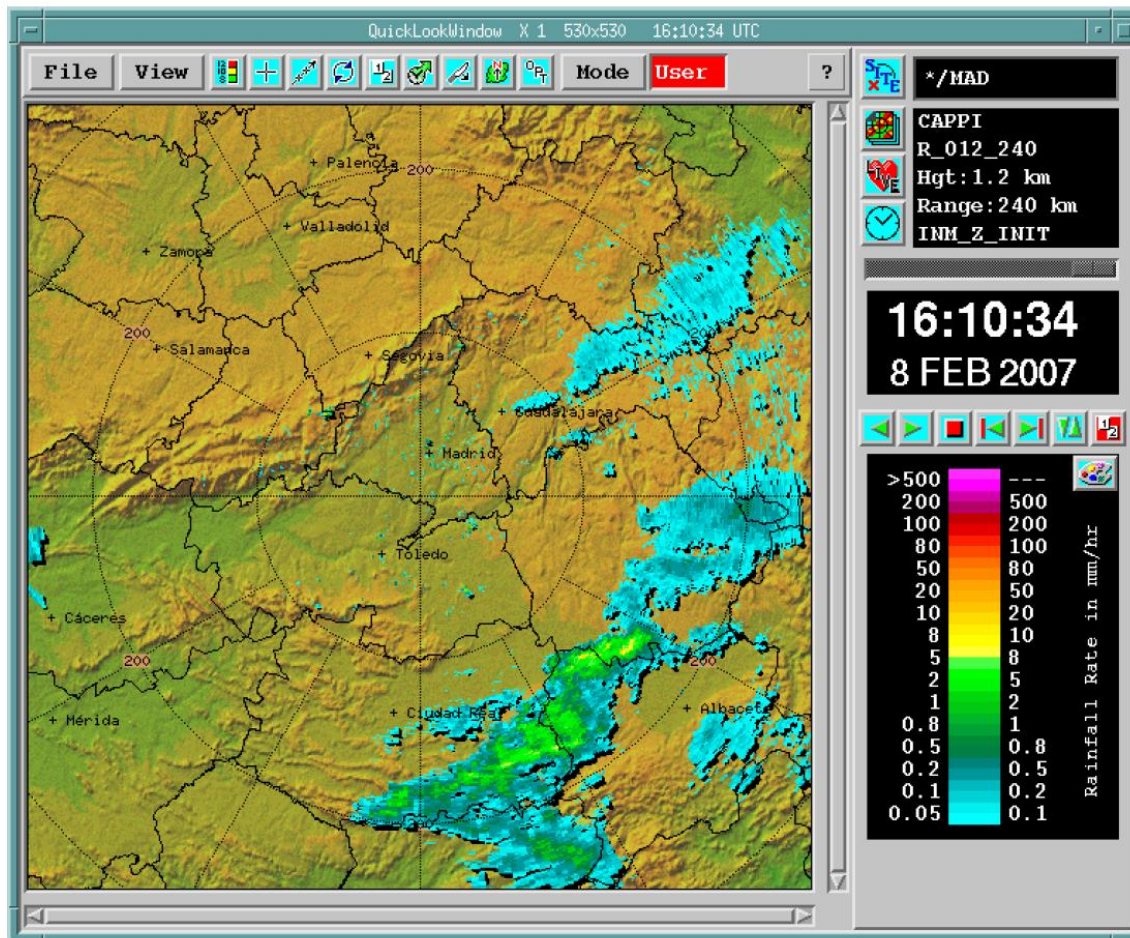
# Máquinas IRIS en el Centro Regional Radar

- **IRIS\_ANALYSIS**

- Controla y monitoriza remotamente el radar
- Permite visualizar las alarmas del radar y equipos anejos
- Visualiza el barrido radar en tiempo real
- Recibe los ficheros RAW de IRIS\_RADAR
- Genera a partir de los RAW los productos programados
- Permite visualizar los productos
- Envía los productos programados a otros sistemas:
  - Máquina IRIS\_DISPLAY
  - Sistema Nacional Radar (SNR)
  - Ingestor McIDAS

- **IRIS\_DISPLAY**

- Está instalada en el GPV para uso de los predictores
- Recibe los productos que le llegan de IRIS\_ANALYSIS
- Si dispone de los RAW puede generar productos, hacer cortes, etc
- Usada también para reprocesar situaciones de archivo

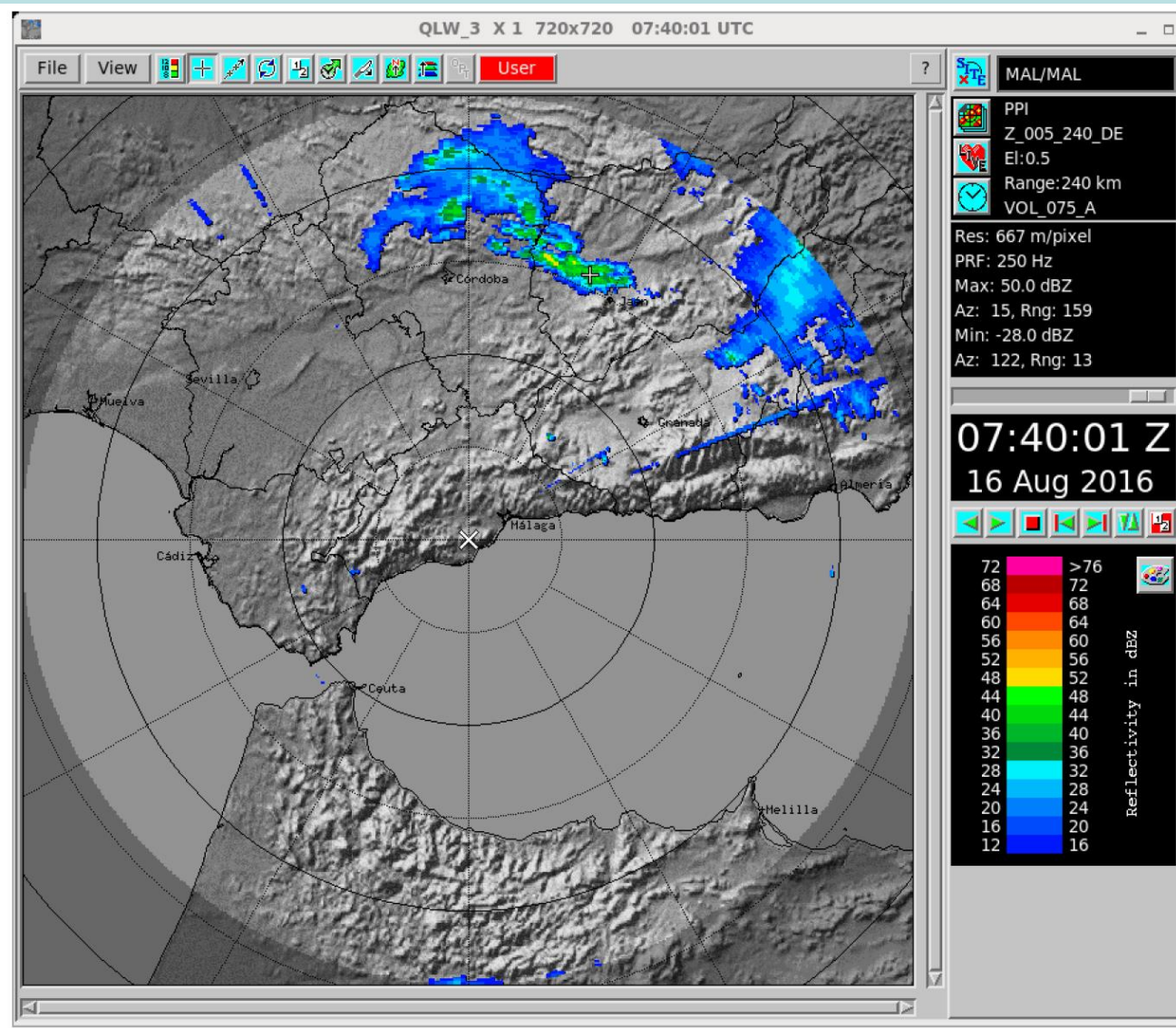


## Ventana Gráfica de Explotación de Productos Radar IRIS

### Quick Look Window (QLW)

- Selección de radar y producto
- Animaciones
- Selección de fondos, rangos y escala de colores.
- Análisis de datos polares





# Radar de Málaga

PPI

Reflectividad Z (dBZ)

Elevación: 0.5°

## DISPONIBILIDAD DE DATOS:

1. En cada uno de los Centros Regionales Radar.
2. En el Centro Nacional Radar.
3. En los terminales de trabajo operativos (McIDAS).
4. En páginas web de la Intranet de la AEMet.

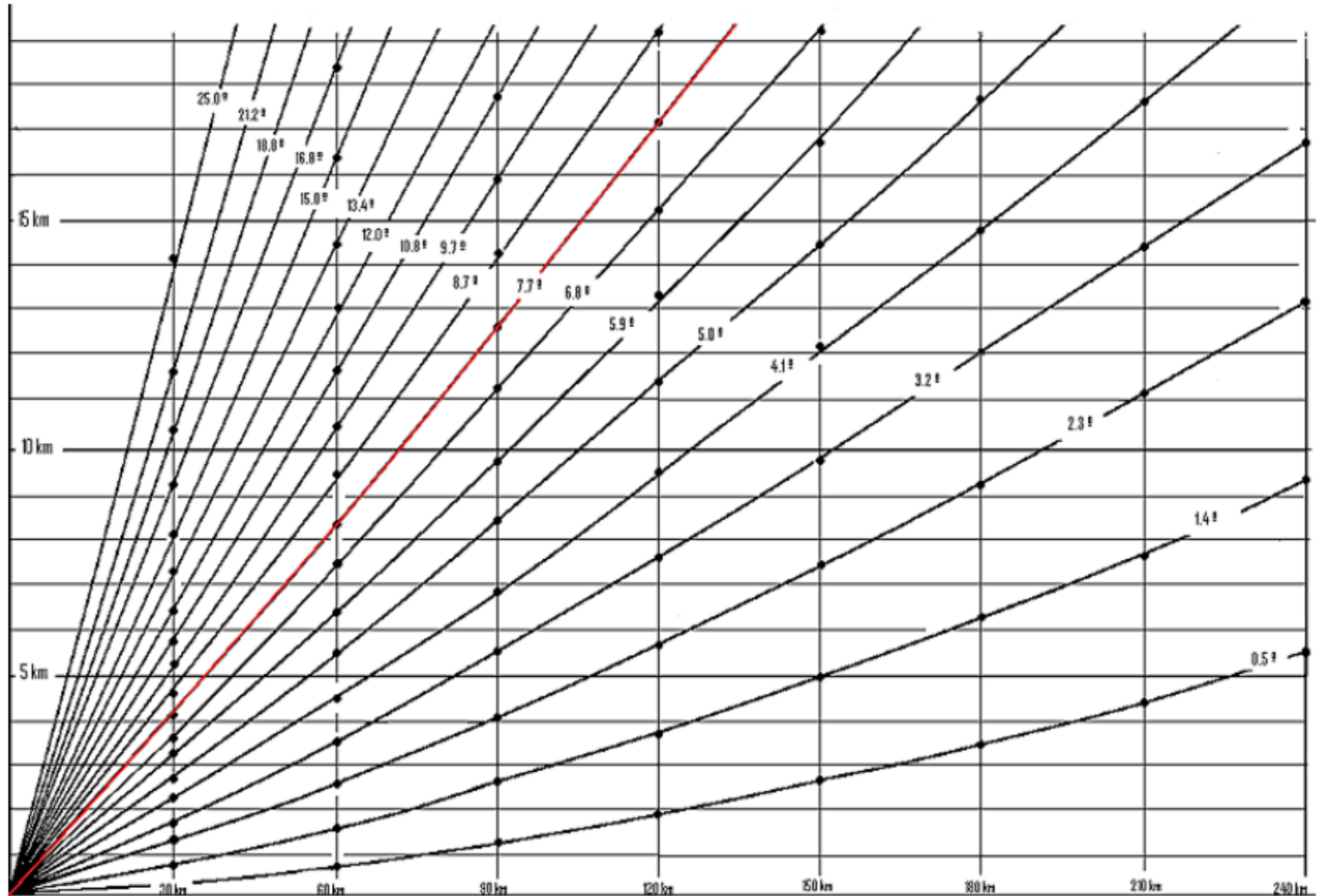
	<b>RANGO LARGO</b>	<b>RANGO CORTO</b>
<b>PRF</b>	250 (A, B) 900/1200 (C,D)	900/1200 (E)
<b>ANCHO DEL PULSO</b>	2,00 $\mu$ s (A,B) 0,56 $\mu$ s (C,D)	0,56 $\mu$ s (E)
<b>A. LÓBULO PRINCIPAL</b>	0.8 °	0,8 °
<b>AMBIGÜEDAD DIST.</b>	599,6 km (A, B) 125,0 km (C, D)	125,0 km (E)
<b>AMBIGÜEDAD V.</b>	$\pm$ 3,3 m/s (A, B) $\pm$ 48,0 m/s (C, D)	$\pm$ 48,0 m/s (E)
<b>RADIO COBERTURA</b>	240 km (A, B) 120 km (C, D)	120 km (E)
<b>EXPLORACIONES</b>	3: 0,5° .... 2,3° (A) 5: 3,2° .... 6,8° (B) 6: 7,7° .... 13,4° (C) 5: 15° ... 25° (D)	2: 1,4° .... 0,5° (E)
<b>EXPLORAC. MAS BAJA</b>	0.5 °	0,5 °
<b>EXP. MÁS ALTA</b>	25,0 °	1,4 °
<b>DURACIÓN DEL CICLO</b>	10 min.	10 min.
<b>DATOS</b>	Z (A, B, C, D) VVP (C, D)	Z, V, T, VVP
<b>RES. EN RANGO</b>	1 km	1 km (0,5 km)
<b>V. ROTACIÓN ANTENA</b>	2 rpm (A) 4 rpm (B, C) 6 rpm (D)	2 rpm (E)

# CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE RADARES REGIONALES

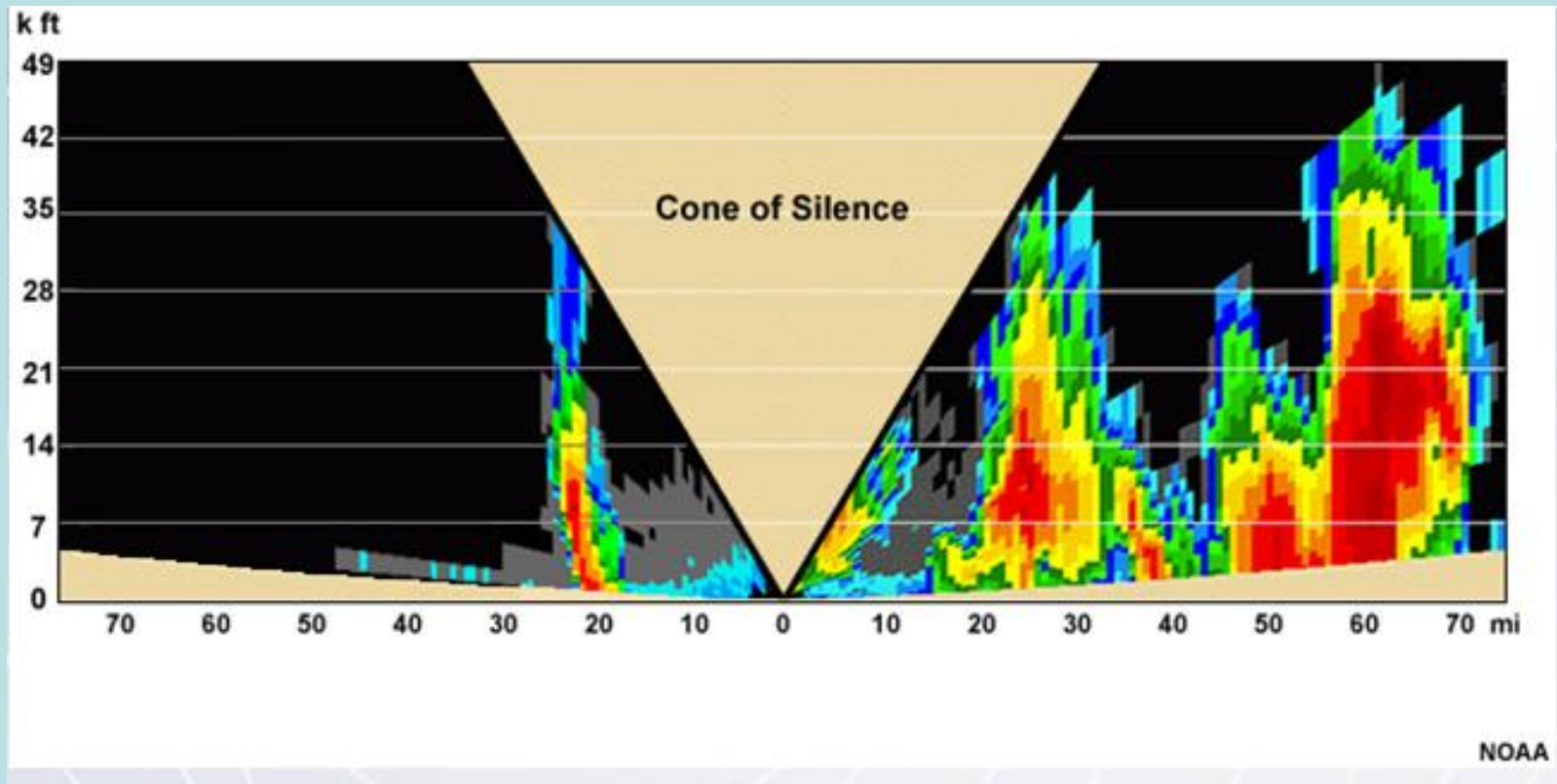
Toda la estrategia de exploración en MODO DOPPLER:

- ❑ Se generan productos de rango largo (240 km) y productos de rango corto (120 km).
- ❑ Exploraciones cada 10 min, resolución espacial de 1x1 km. Únicamente datos de Z (r. largo) y de Z, V y T (r. corto).
- ❑ Primera elevación (PPI) a 0.5°.
- ❑ Se genera un Volumen Polar (PPIs) con 21 elevaciones.
- ❑ A partir de este volumen se generan diversos productos derivados, en rango largo:
  - ❑ Echotop, ZMAX, CAPPI, VIL, ACC, etc
- ❑ Así como productos en rango corto:
  - ❑ PPIs de Z, V y T.
  - ❑ Producto VVP (antiguo VAD).

# Distribución actual de elevaciones



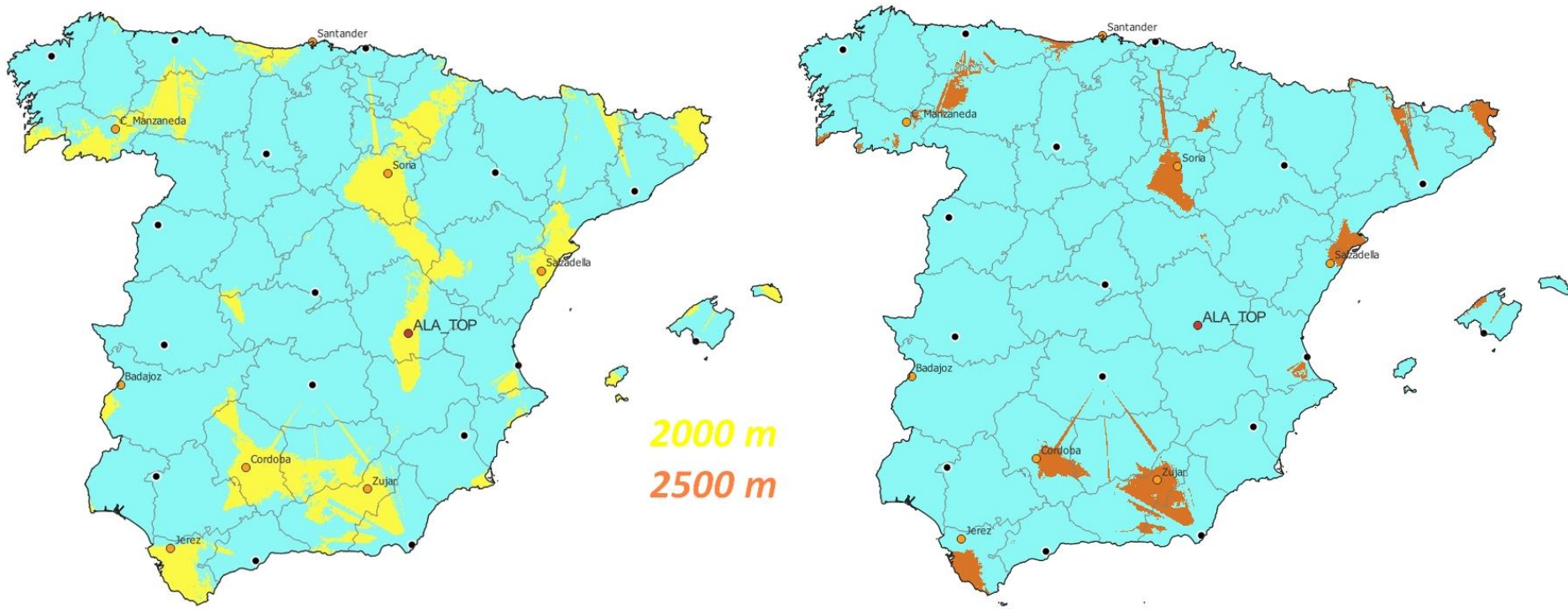
# Cono de sombra sobre la vertical del radar



Corte vertical de ecos radar en un área tormentosa

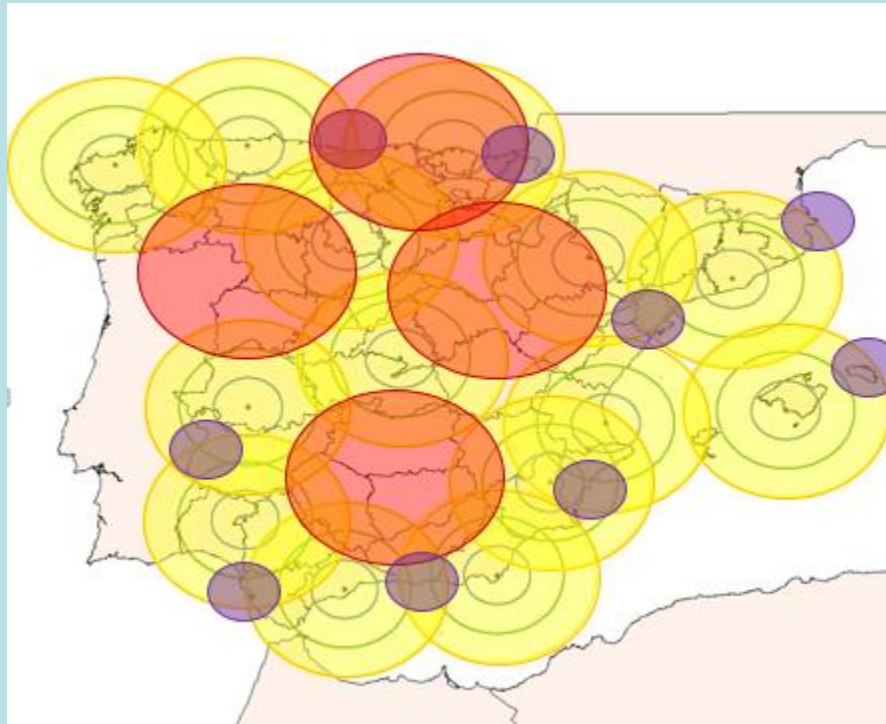
# RENOVACIÓN RED DE AEMET CON FONDOS EUROPEOS

Falta de cobertura actual por debajo de h metros



# MEJORAS

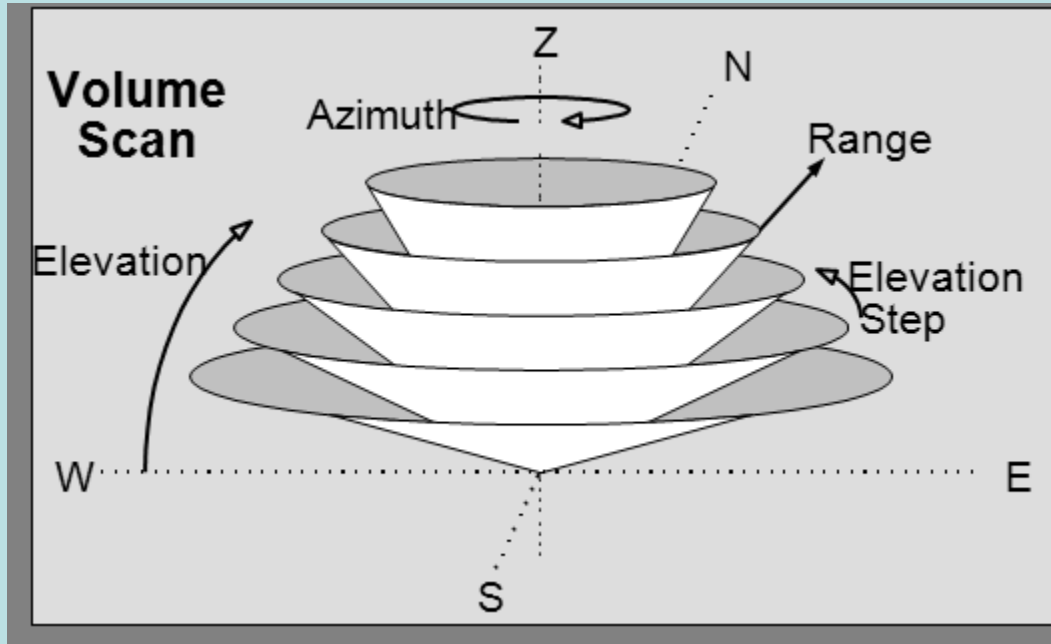
- Nuevos emplazamientos para aumentar la cobertura
- Nueva Tecnología DualPol
- Nuevos radares de Banda X
- Red de estaciones en tierra para ajuste





# 4. - Volumen polar y Volumen cartesiano

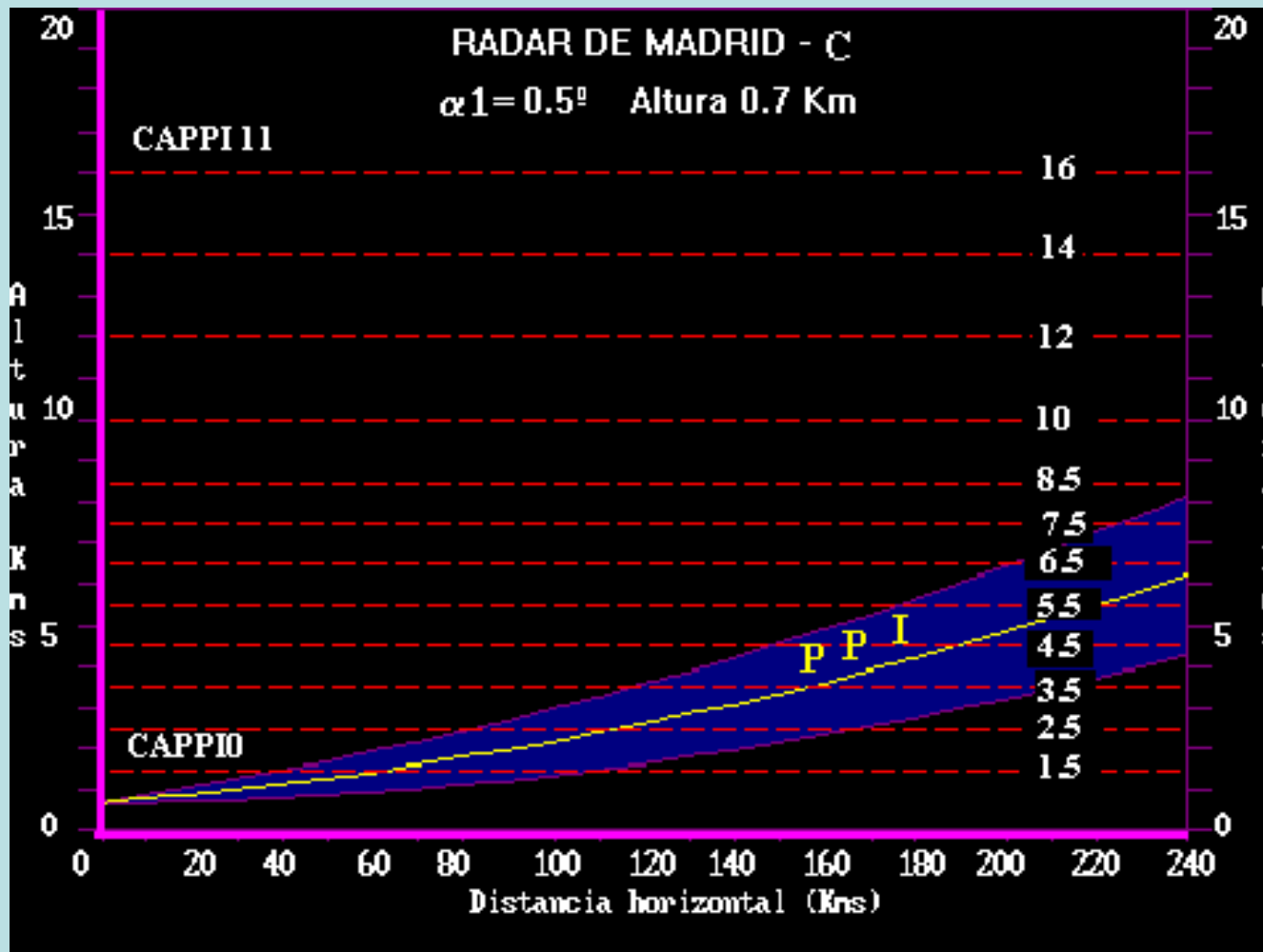
# Volumen polar



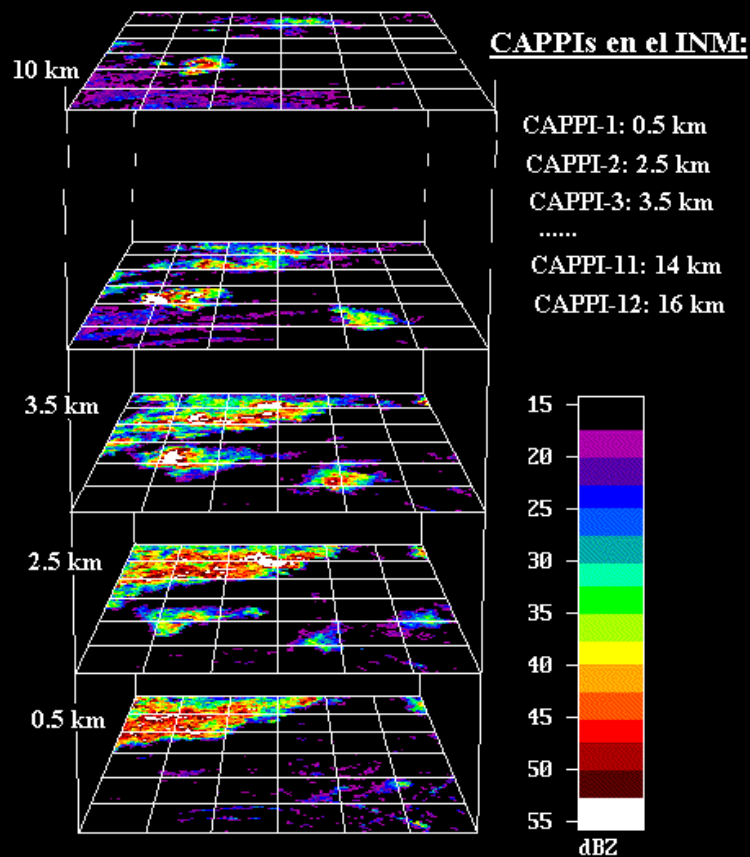
Por exploración se entiende un barrido de  $360^\circ$  en acimut para cada elevación. Cuántas más exploraciones se realicen mayor número de datos y mejor resolución espacial tendremos pero consumirá más tiempo de proceso.

Se suelen realizar en torno a 20 exploraciones que van desde la más baja con una elevación de  $0,5^\circ$  hasta la más alta de  $25,0^\circ$

El resultado del barrido volumétrico es un volumen de datos en coordenadas polares (radio:  $r$ , acimut:  $\theta$ , elevación:  $\alpha$ ) que posteriormente se transforma a coordenadas cartesianas ( $x, y, z$ ), mediante un método de interpolación.



# VOLUMEN CARTESIANO



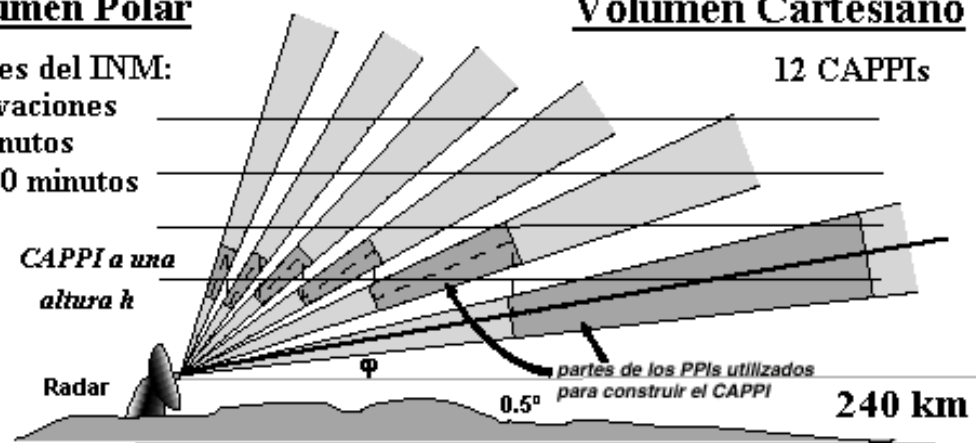
## Volumen cartesiano

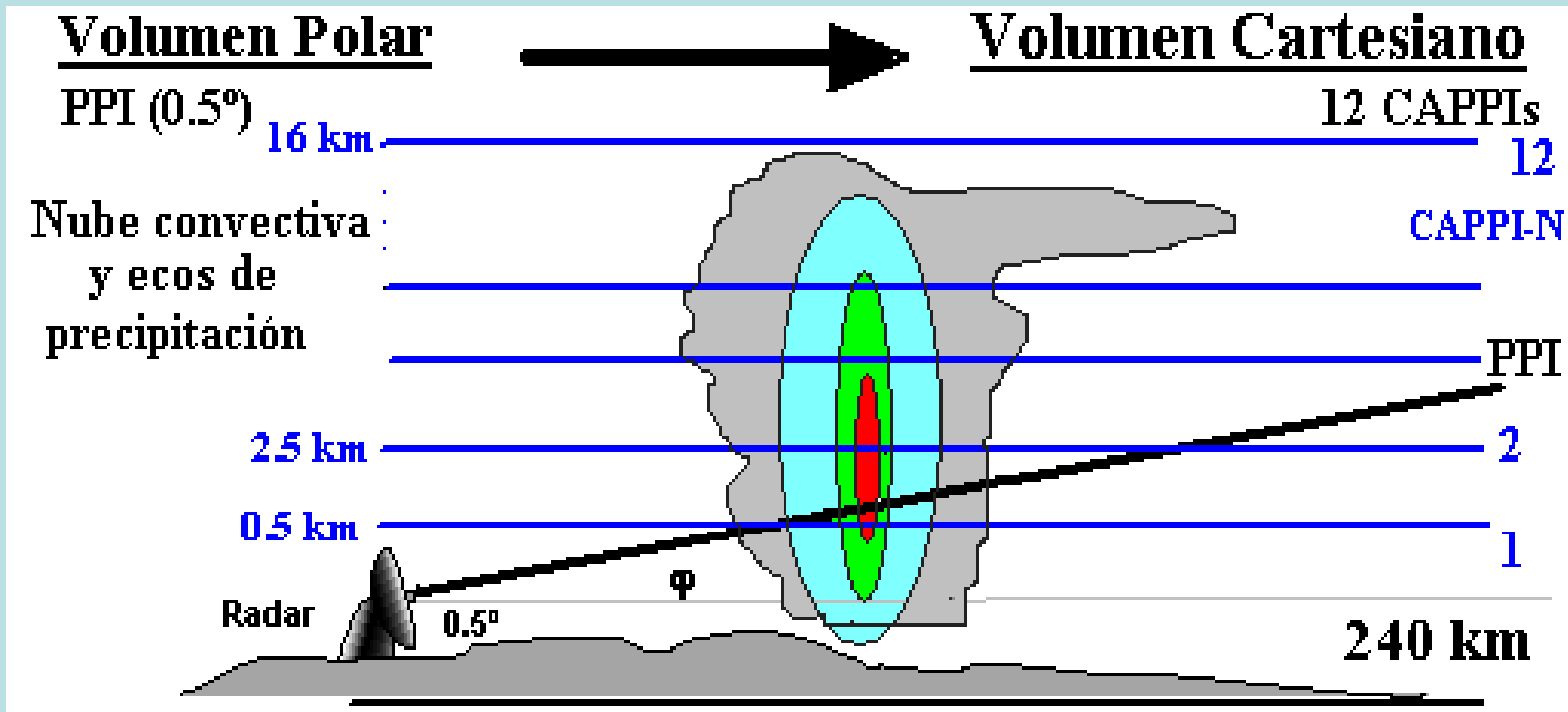
### Volumen Polar

Radars del INM:  
20 elevaciones  
3-4 minutos  
cada 10 minutos

### Volumen Cartesiano

12 CAPPIs





## **BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN:**

- **Curso de radar de Juan Pablo Álvarez Alonso (AEMET)**
- **Radar Research and Development Dept. NSSL (EEUU)**
- **Rafael Sánchez-Diezma (Tesis, 2001) de la UPC**
- **Radar Dept. McGill University (Canada)**
- **Curso de radar de Francisco Martín León (AEMET)**
- **Curso de radar de Ismael San Ambrosio (AEMET)**
- **Módulos COMET (NCAR)**
- **NWS (USA)**
- **[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/home.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/home.rxml)**

PIB-M. FASE PRESENCIAL. 2023  
RADARES

3.- USOS Y LIMITACIONES DEL  
RADAR

Jesús Riesco Martín.  
jriescom@aemet.es



# ÍNDICE TEMÁTICO

- 1.- Usos del radar
- 2.- Limitaciones del radar
- 3.- Características de la red de radares de AEMET
- 4.- Volumen Polar y Volumen Cartesiano

# 1.- Usos del radar

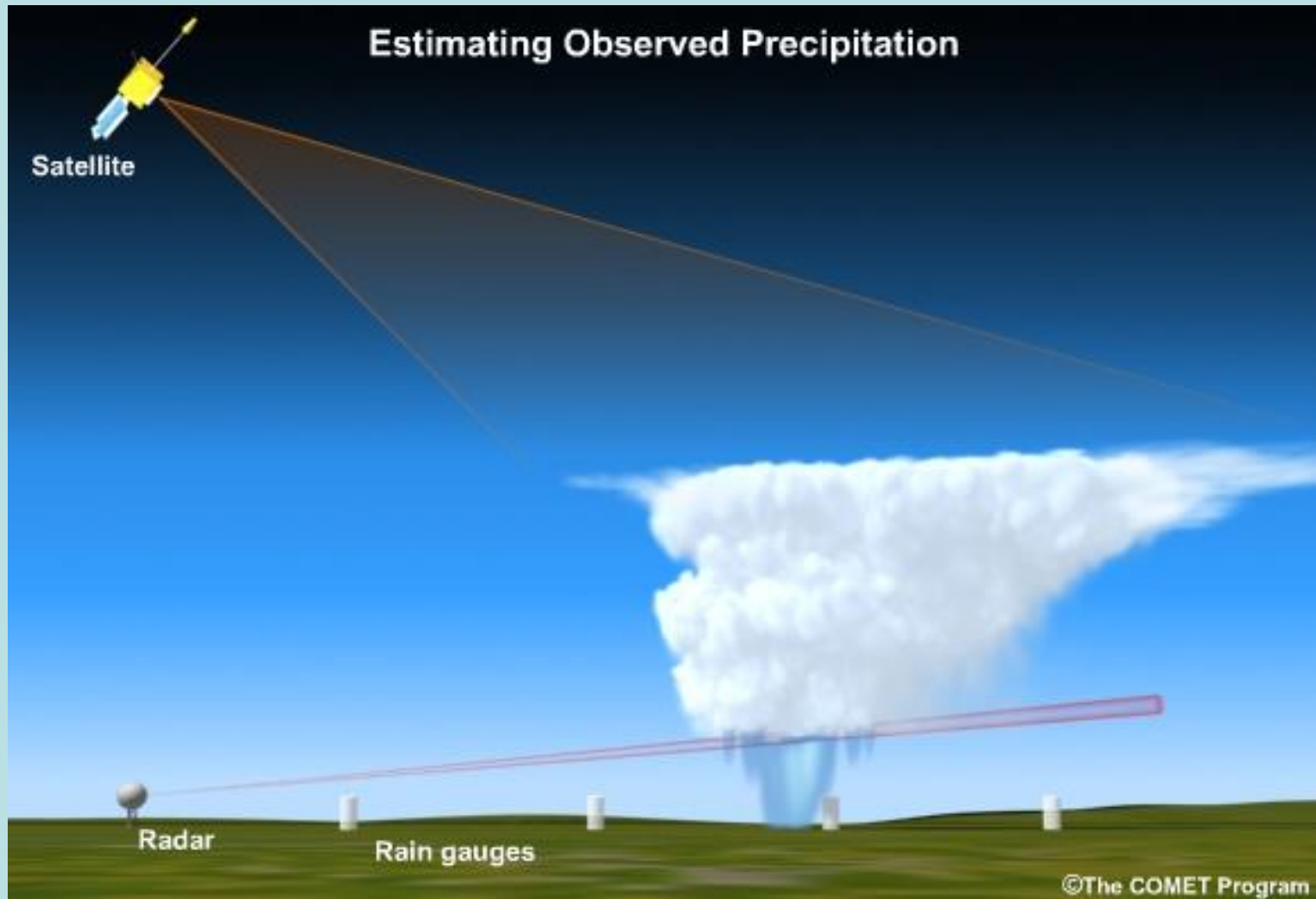
# USO METEOROLÓGICOS PRINCIPAL DEL RADAR

## Observación de la precipitación a partir de radar:

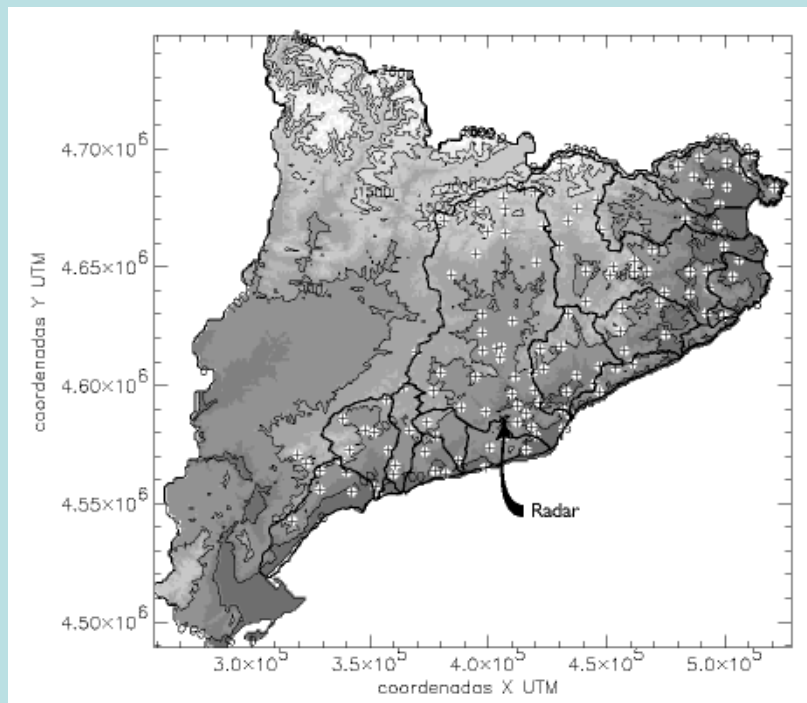
- Sobre grandes extensiones,
- Con una buena resolución espacial (0,5 x 0.5 ó 1 x 1 km) y
- Con una buena resolución temporal (10' en AEMET).

# PRINCIPALES VENTAJAS FRENTE A OTROS SISTEMAS DE OBSERVACIÓN DE PRECIPITACIÓN

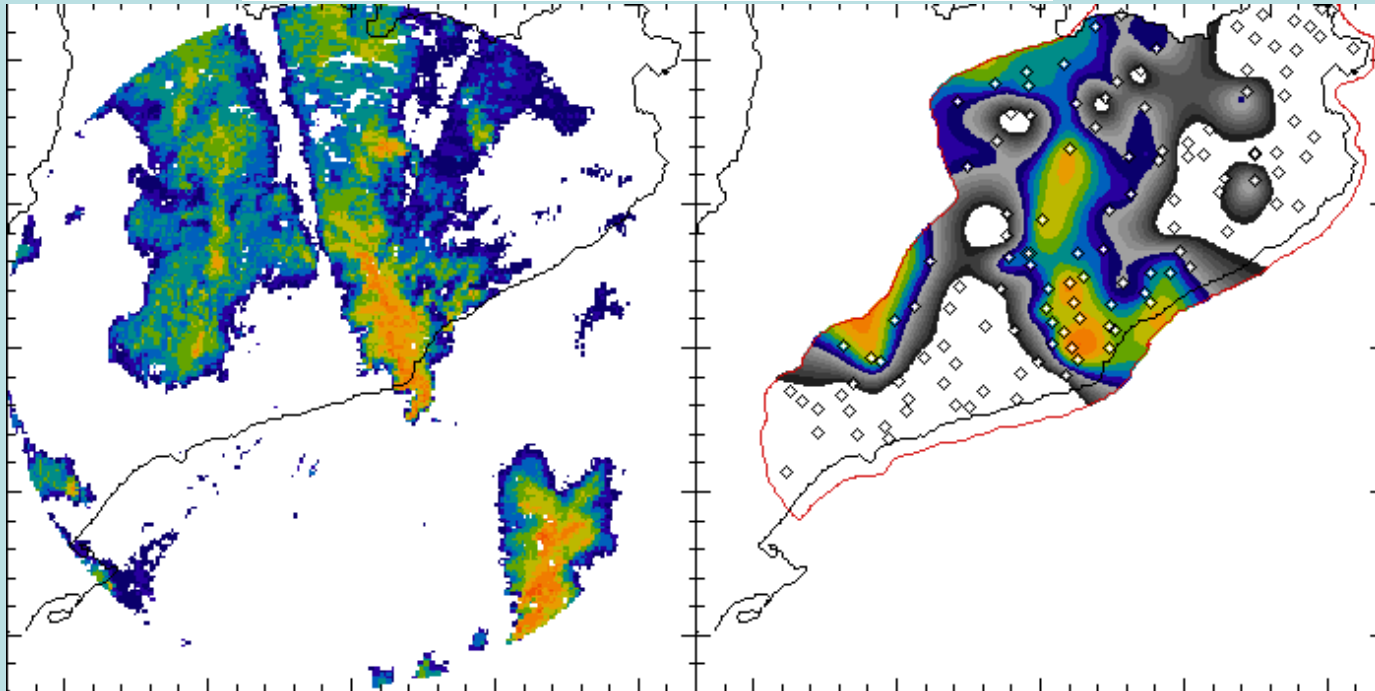
- **Mayor continuidad espacial** que redes de pluviómetros.
- Reproduce **mejor la variabilidad espacial y el patrón de precipitación** existente que otros sistemas.



**En cualquier caso**, lo que observa el radar, los pluviómetros o los satélites meteorológicos **no va a ser lo mismo**.



Radar



Red pluv.

Muy útil el USO en la VIGILANCIA METEOROLÓGICA, partiendo de un conocimiento previo sobre principios físicos atmosféricos y modelos conceptuales:

- Conocimiento y caracterización en tiempo real de las estructuras precipitantes.
- Análisis tridimensional de las estructuras precipitantes (tormentas, sistemas frontales, ciclones tropicales,....)
- Integración de esta información con datos meteorológicos de diversas fuentes (satélite, rayos, EMAs, modelos numéricos,...).
- Predicción a corto y muy corto plazo (Nowcasting) de la evolución de la precipitación.

# Otros usos del radar meteorológico

- **Hidrología:** necesidad de correcciones apropiadas para optimizar la estimación cuantitativa de la precipitación.
- **Climatología,** ya que supone un mejor conocimiento de las estructuras y patrones de lluvia.
- **Capa límite planetaria,** a partir de los datos en Modo Doppler.
- **Aeronáutica:** desarrollando módulos específicos para el nowcasting de fenómenos adversos para la aviación.
- **Microfísica de nubes:** partiendo de radares específicos para investigación en este campo.

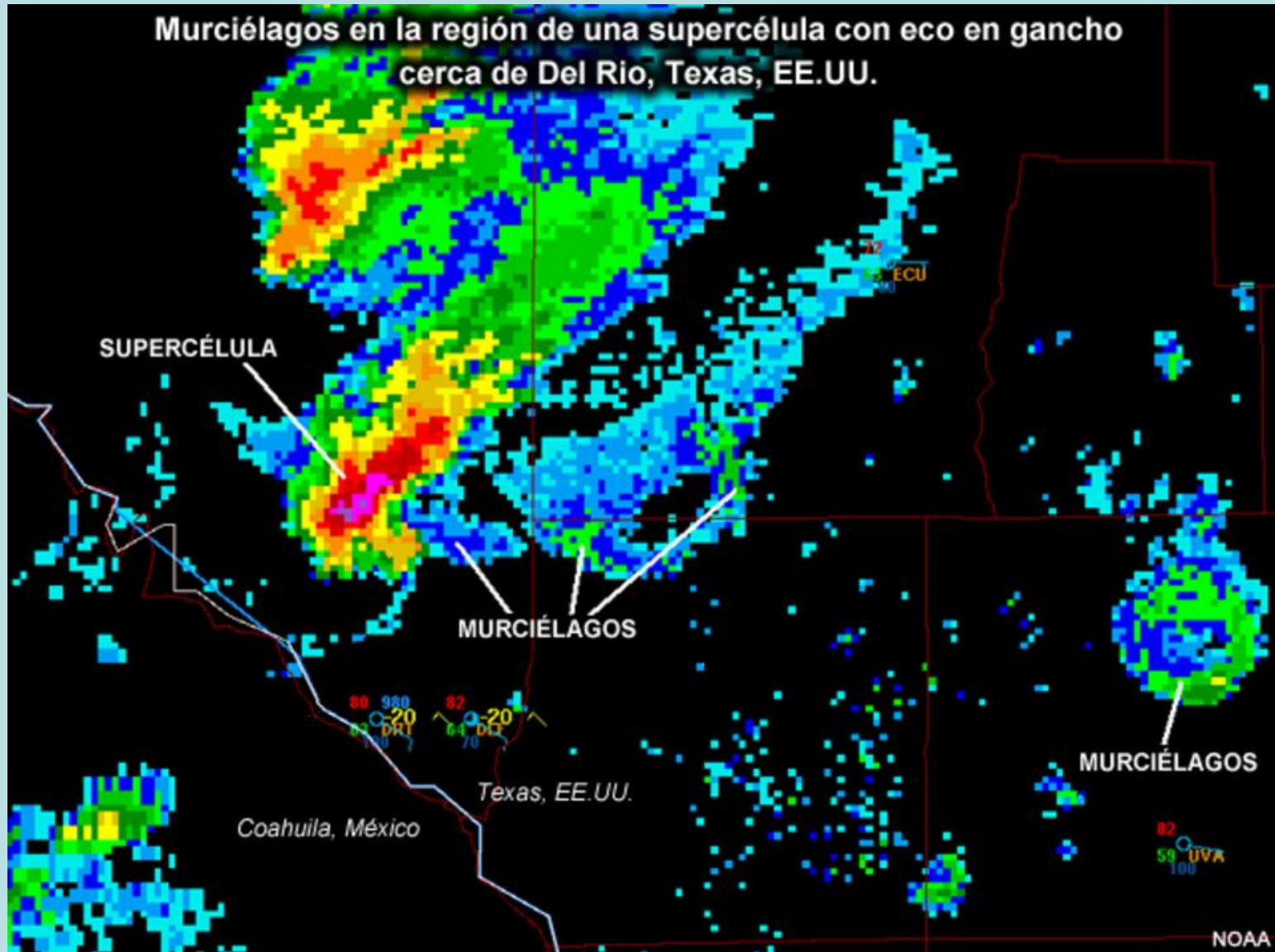


## DETECCIÓN DE OTROS TIPOS DE FENÓMENOS O PARTÍCULAS DE BUEN TIEMPO

Es frecuente que los ecos que obtenemos del radar sean el producto de blancos no meteorológicos:

- polvo y arena,
- humo,
- insectos y
- aves

Murciélagos en la región de una supercélula con eco en gancho cerca de Del Rio, Texas, EE.UU.

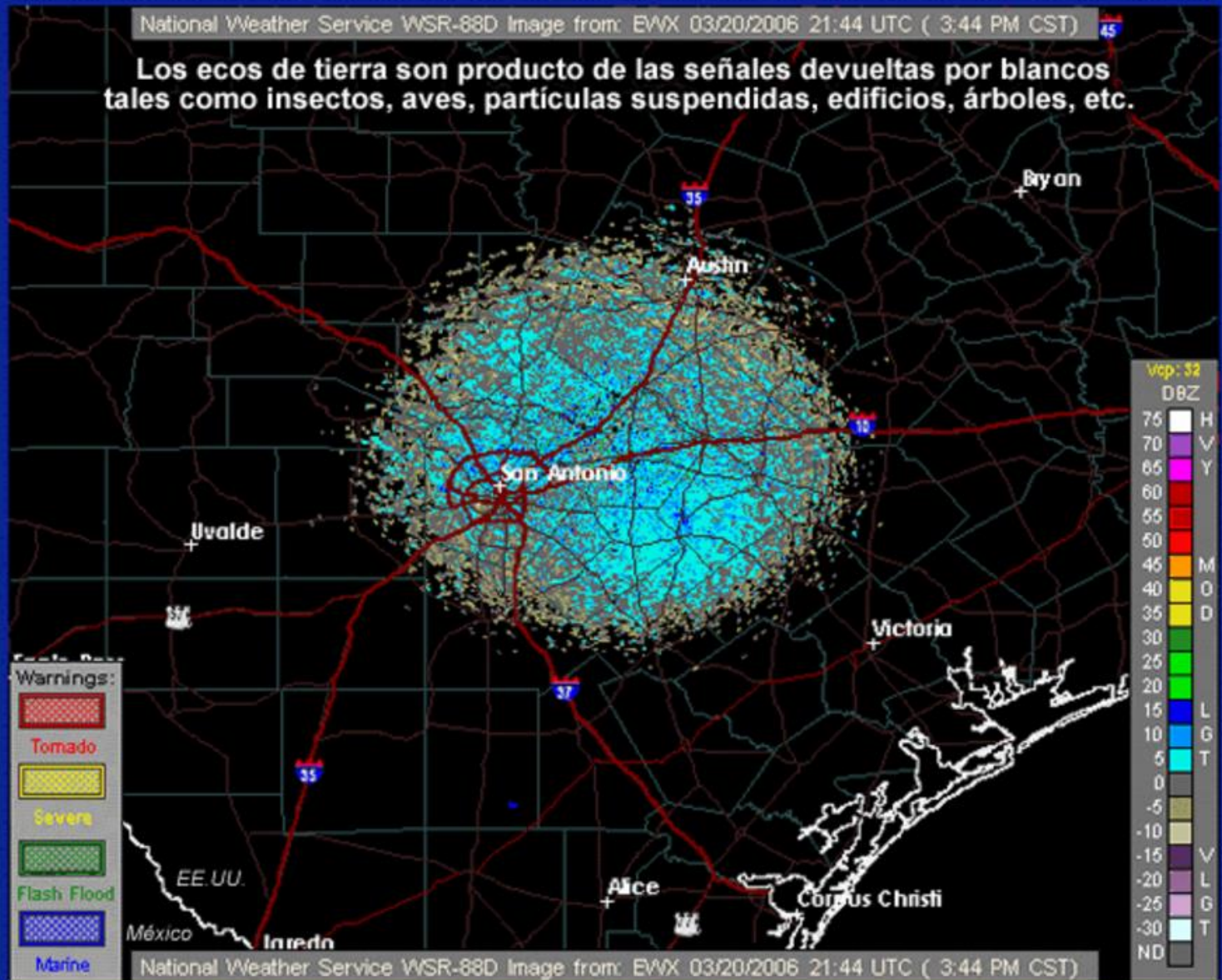


National Weather Service WSR-88D Image from: EWX 03/20/2006 21:44 UTC ( 3:44 PM CST)

Los ecos de tierra son producto de las señales devueltas por blancos tales como insectos, aves, partículas suspendidas, edificios, árboles, etc.

Warnings:

-  Tornado
-  Severe
-  Flash Flood
-  Marine



National Weather Service WSR-88D Image from: EWX 03/20/2006 21:44 UTC ( 3:44 PM CST)

- Topo
- Radar
- Counties
- Rivers
- Highways
- Cities
- Warnings
- Legend

NOAA

## 2.- Limitaciones del radar

# LIMITACIÓN EN LA ELECCIÓN DEL RADAR

Los factores que influyen en la elección de la **longitud de la onda** emitida por el radar son:

- Su sensibilidad, o habilidad para detectar ecos débiles a largas distancias.
- La capacidad para resolver pequeños patrones
- El tipo de blancos a estudiar
- Efectos atmosféricos (absorción, atenuación, ...)

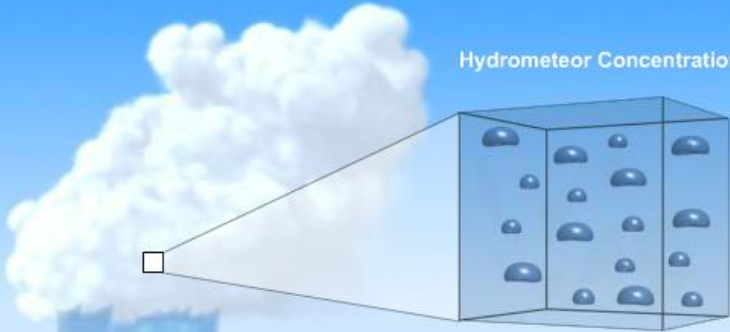
Generalmente cortas longitudes de onda significan equipos más pequeños y baratos.

**La principal ventaja de utilizar mayores longitudes de onda es que la absorción por las partículas queda drásticamente reducida.**

# DESCONOCIMIENTO DE LOS HIDROMETEOROS...

Hydrometeor Properties That We Need to Know

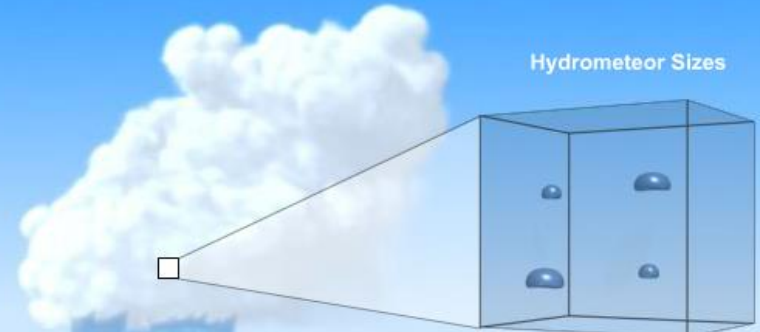
Hydrometeor Concentration



©The COMET Program

Hydrometeor Properties That We Need to Know

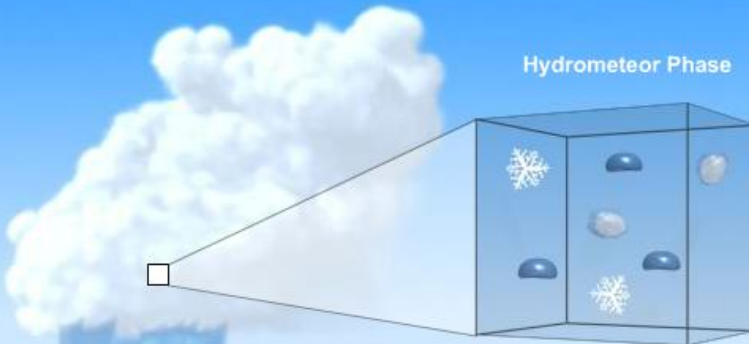
Hydrometeor Sizes



©The COMET Program

Hydrometeor Properties That We Need to Know

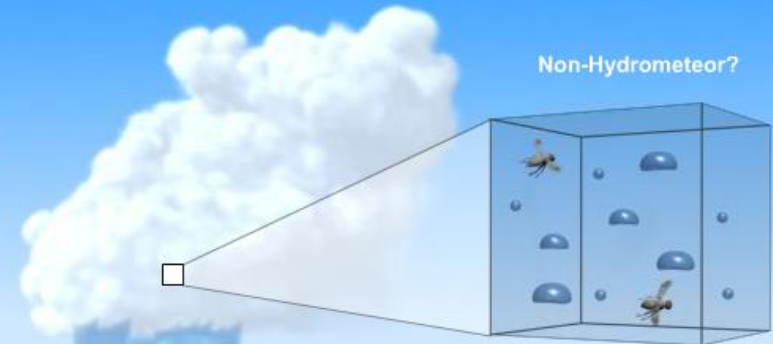
Hydrometeor Phase



©The COMET Program

Hydrometeor Properties That We Need to Know

Non-Hydrometeor?



©The COMET Program

# Limitaciones en la interpretación de las imágenes radar

- Presentación incorrecta la "precipitación"
  - Ecos de tierra
  - Propagación anómala
  - Lóbulos laterales
- Estimación incorrecta de la cantidad de "precipitación"
  - Apantallamiento
  - Atenuación
  - Calibración

# Presentación incorrecta de la precipitación

## ➤ No representan "precipitación"

- Ecos de tierra
- Mala interpolación a coordenadas cartesianas
- Interferencia de otras fuentes (otros radares,...)
- Propagación anómala

## ➤ No presentan la "precipitación" en el lugar correcto

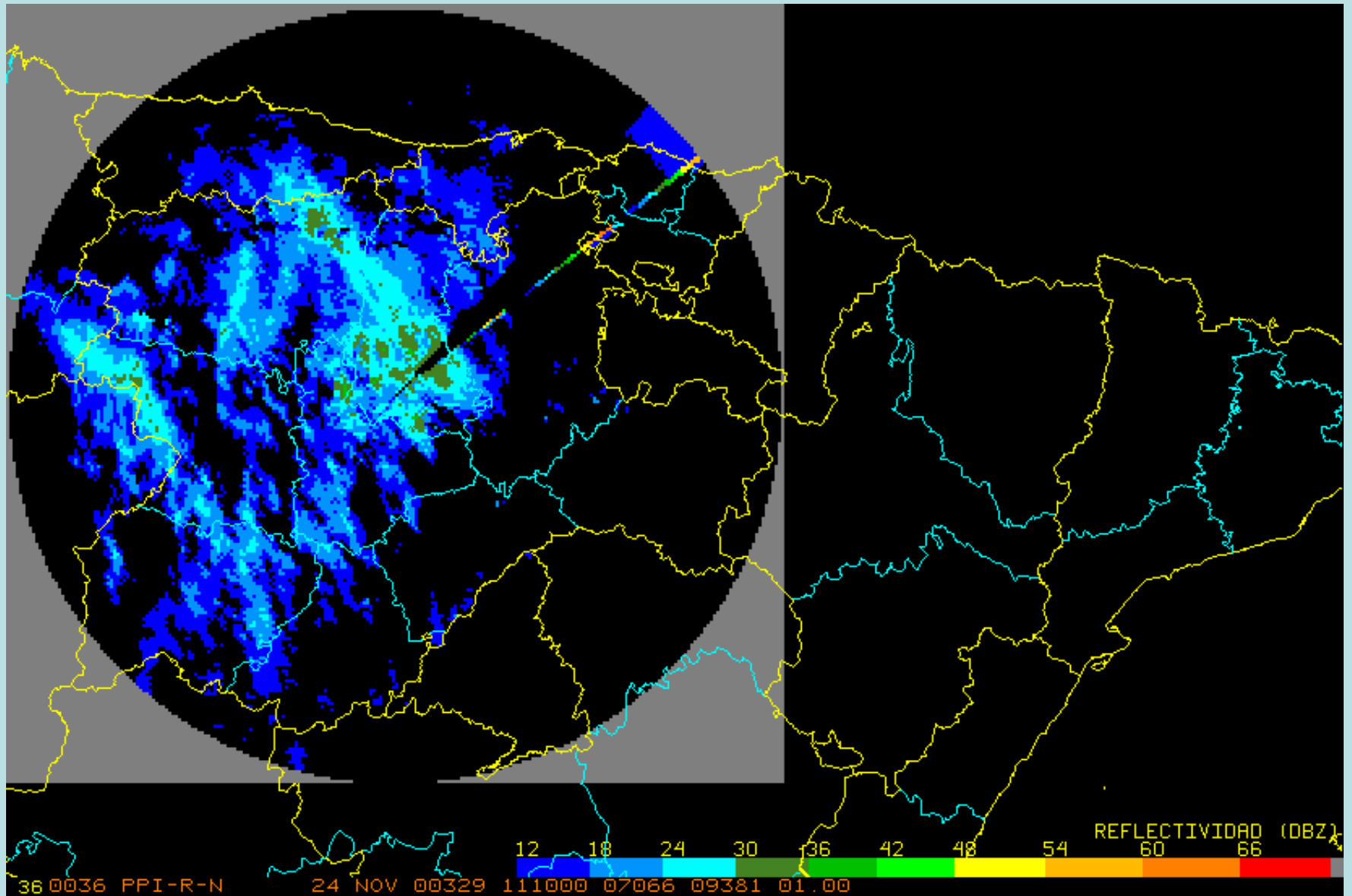
- Ecos de segundo trip (relacionado con frecuencia repet. pulsos)
- Lóbulos laterales



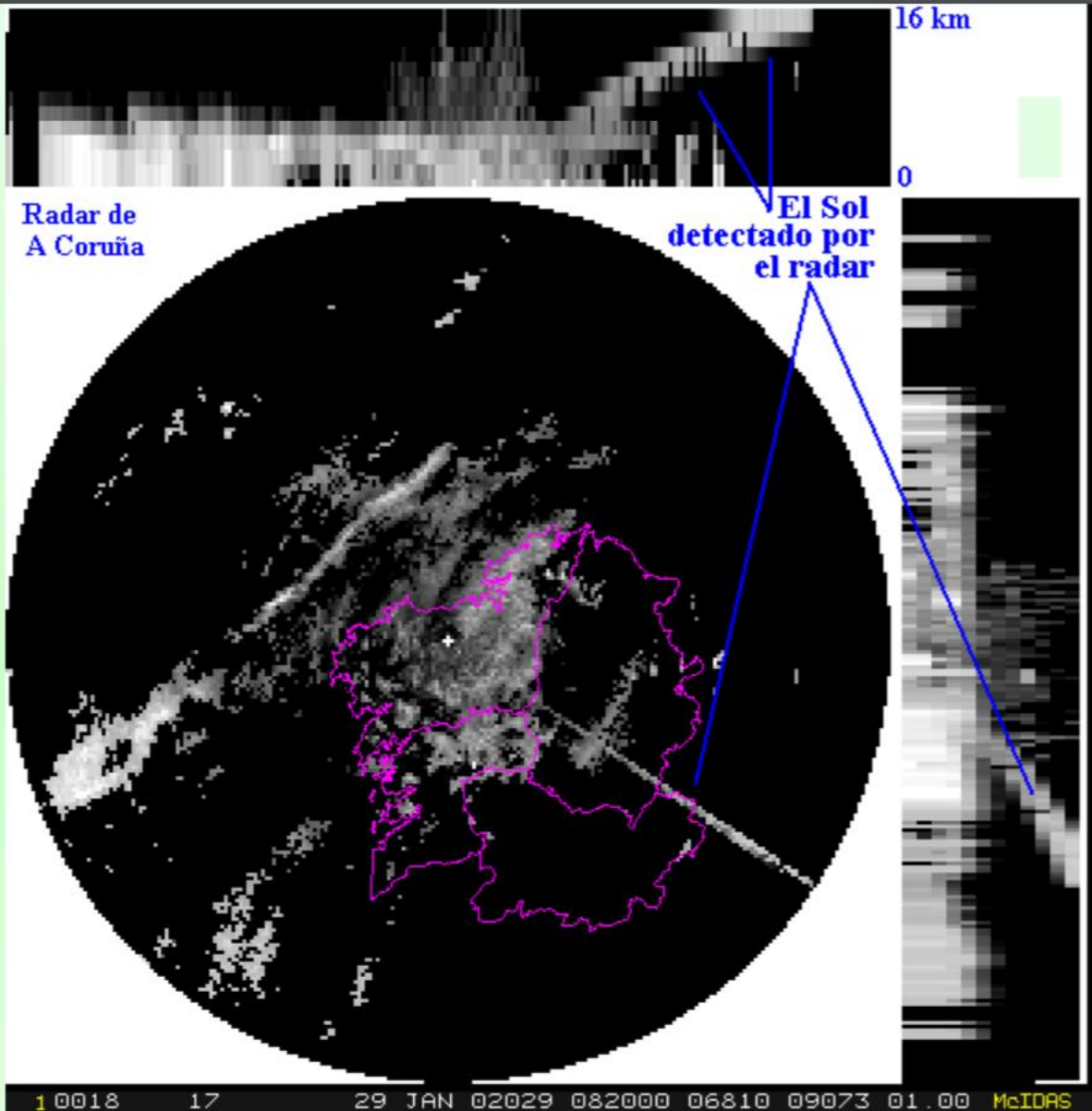
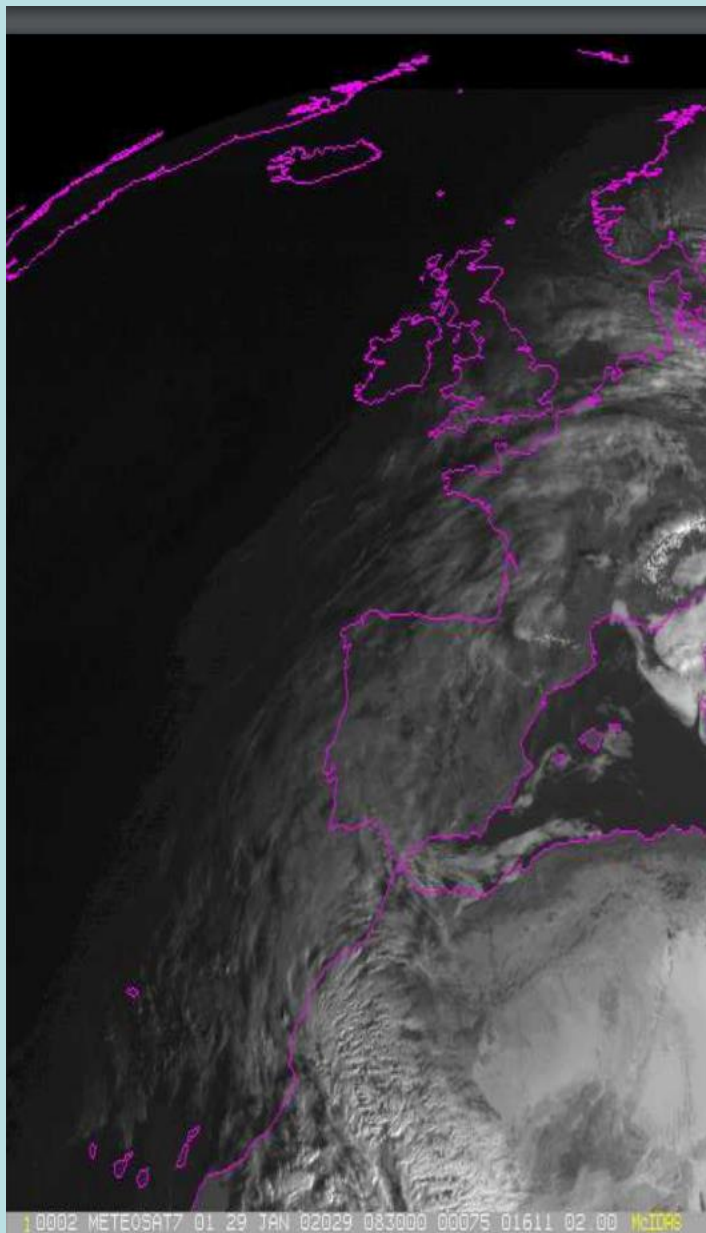
## Ecos de tierra

Aparecen cuando el haz del radar es interceptado por obstáculos que pueden ser naturales (montañas, colinas, árboles) o debidos a la actividad humana (edificios, torres de tendido eléctrico, molinos de viento).

Se eliminan por software en radares con capacidad doppler



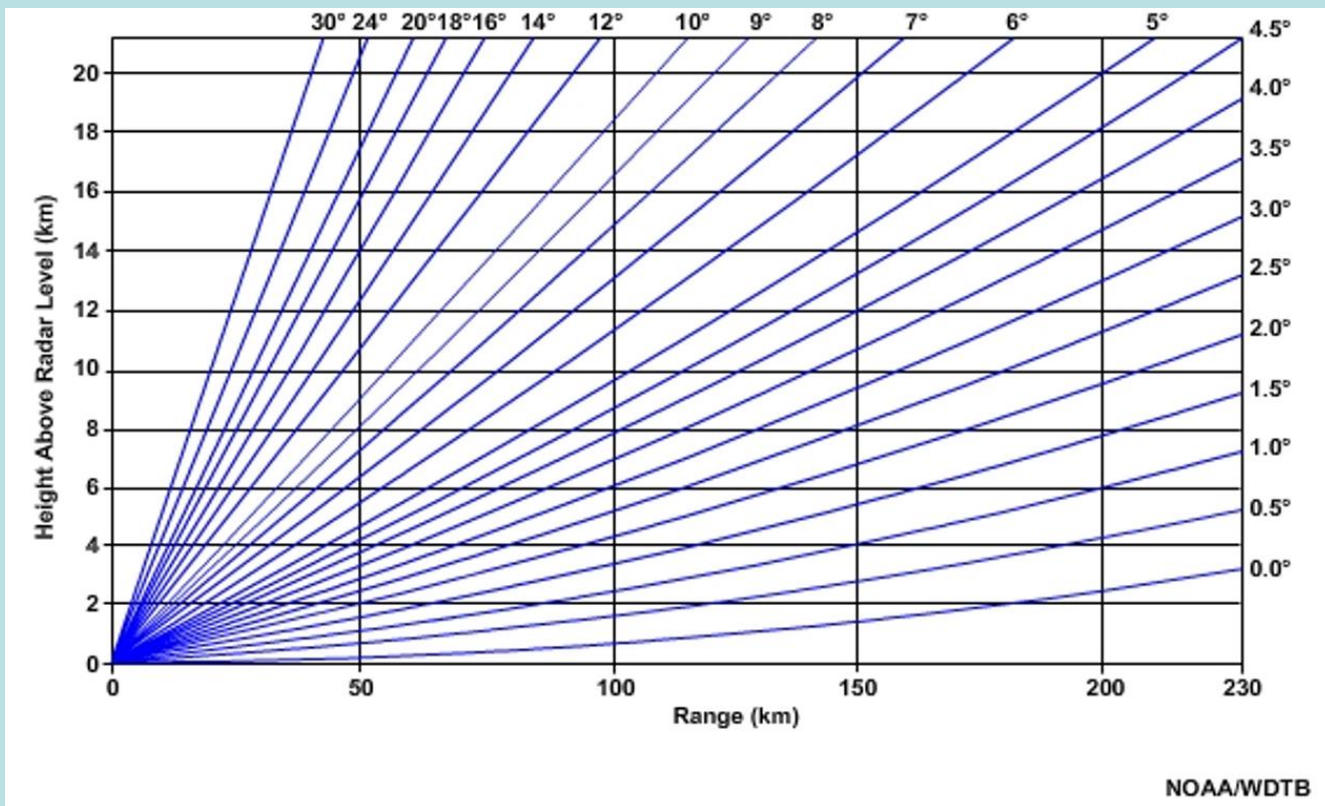
Interferencia con otros radares



Interferencia por el sol...

# Propagación normal del haz del radar

- Trayectoria  $\rightarrow$   $dn/dz$   $n$ : función de  $P$ ,  $T$ ,  $e$
- Menor curvatura que la superficie terrestre
- Para una elevación de  $0,5^\circ$  a 200 Km la altitud sobre el radar es de 4000 m
- Estudios cuantitativos de precipitación únicamente a menos de 100-120 km

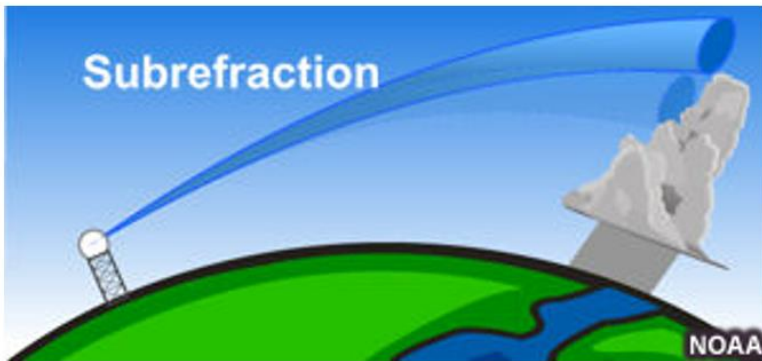


# Tipos de Propagación anómala

- **SUBREFRACCIÓN:** el haz gana altura más rápido de lo normal. Así los **ecos que se encuentre el haz en su camino se van a interpretar como si estuvieran más bajos** (como si el haz se comportara normalmente). Suelen ocurrir en zonas de gradiente vertical próximo al adiabático y en áreas con aumento de la humedad con la altura.
- **SUPERREFRACCIÓN:** el haz se encuentra más bajo de lo normal (se curva más de lo normal). Se suelen producir en situaciones relativamente estables, con inversiones de temperatura. Así el haz del radar choca con el suelo produciendo ecos falsos. También en zonas de rápido descenso de la humedad con la altura



Condiciones atmosféricas normales

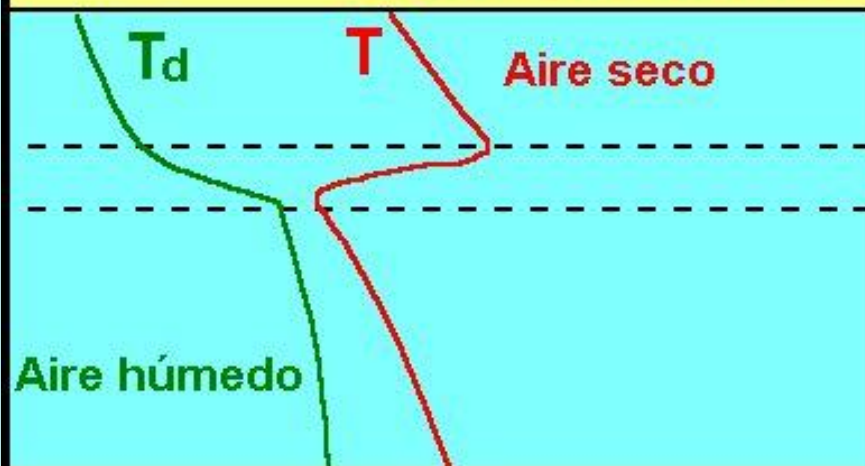


Condiciones atmosféricas inestables



Condiciones atmosféricas estables

## PROPAGACIÓN ANÓMALA

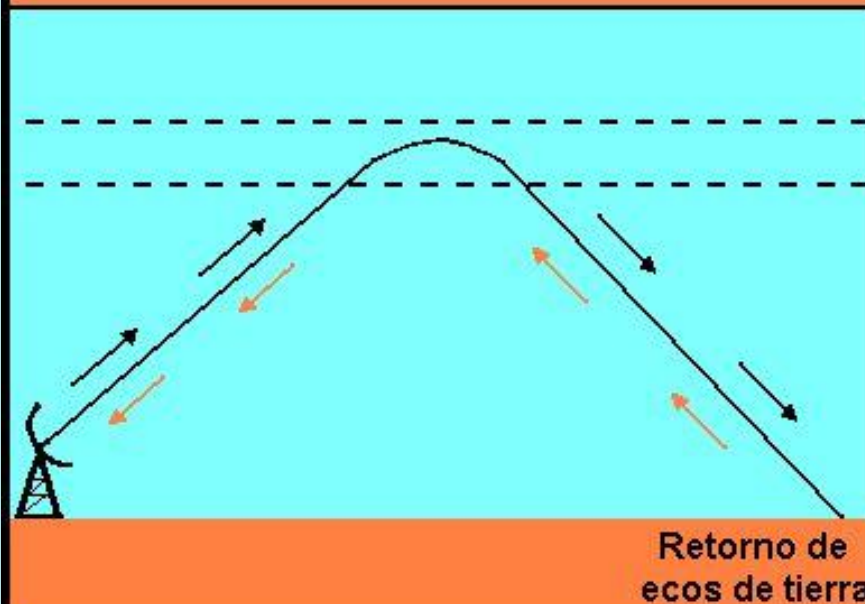


La figura muestra las condiciones atmosféricas propicias para que suceda la propagación anómala:

la existencia de una capa de pequeña extensión donde la temperatura aumenta con la altura mientras que la humedad disminuye rápidamente.

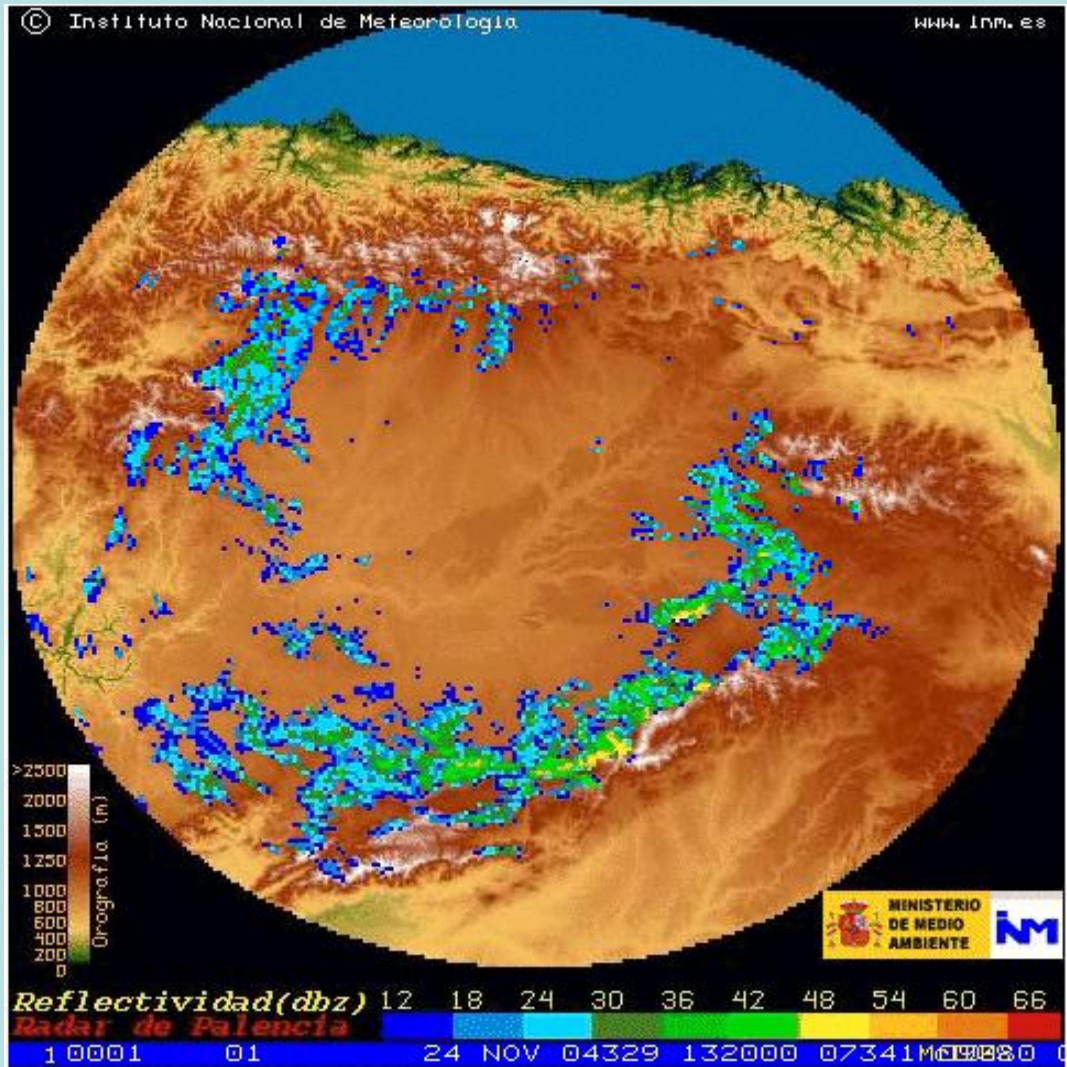
Las inversiones próximas al suelo reúnen las características descritas en el párrafo anterior.

En la inversión, el haz de radar es refractado hacia el suelo observándose un incremento anormal de ecos de tierra.



T = Variación vertical de la temperatura

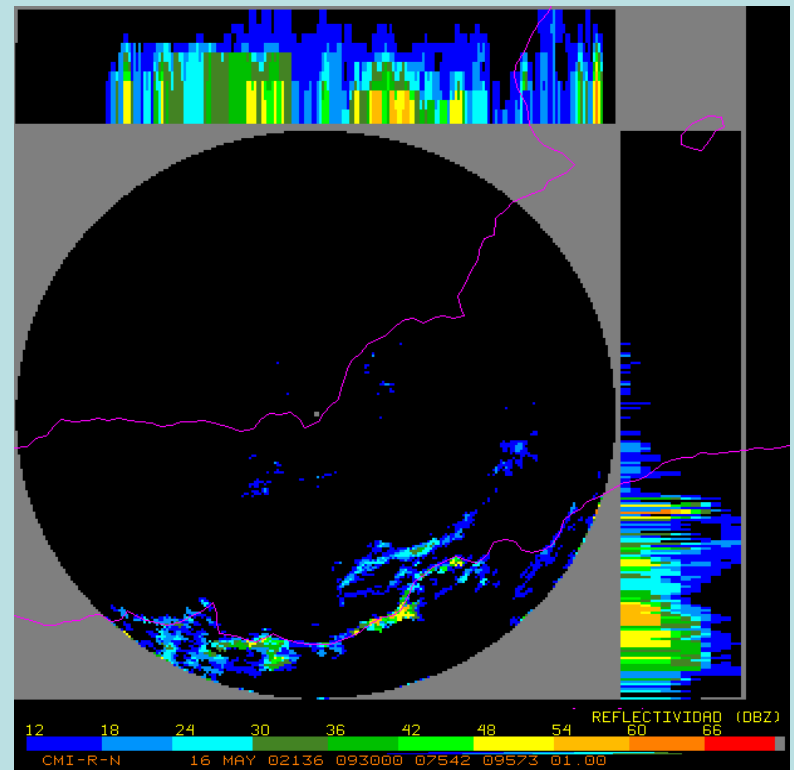
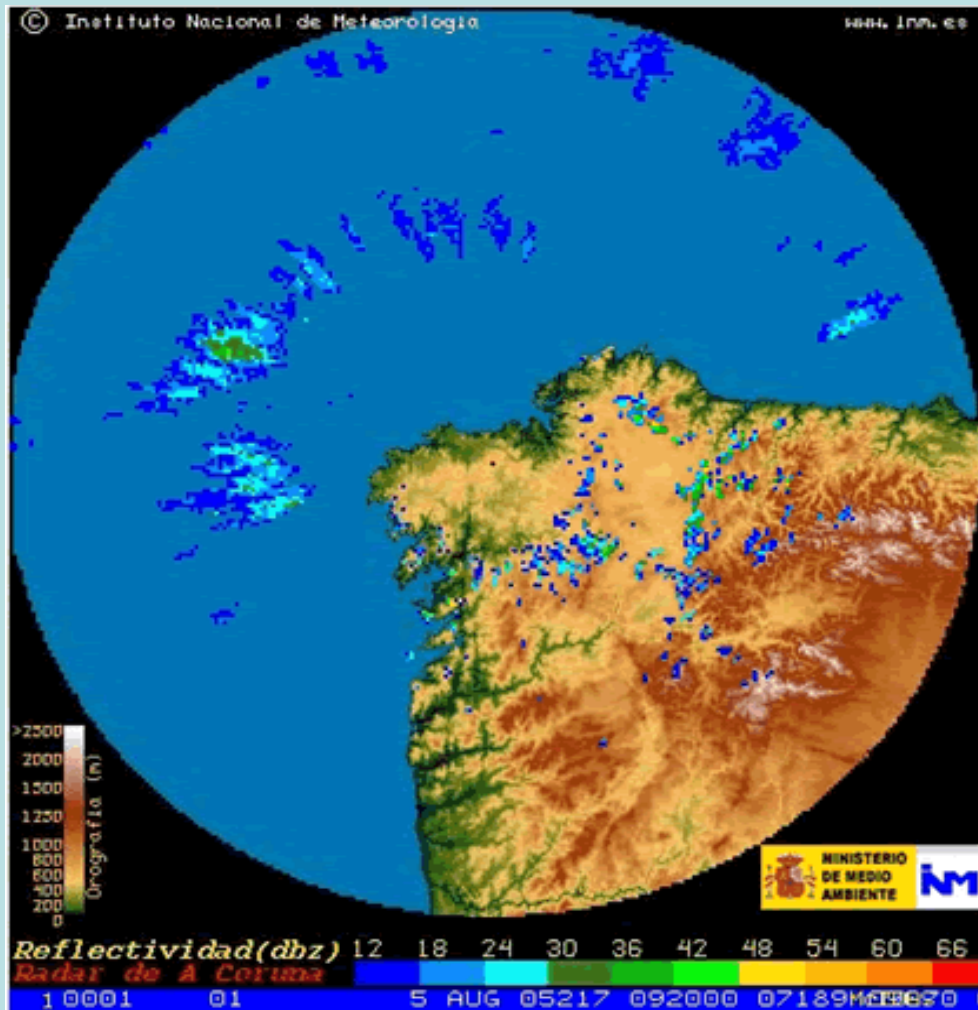
$T_d$  = Variación vertical de la temperatura de rocío



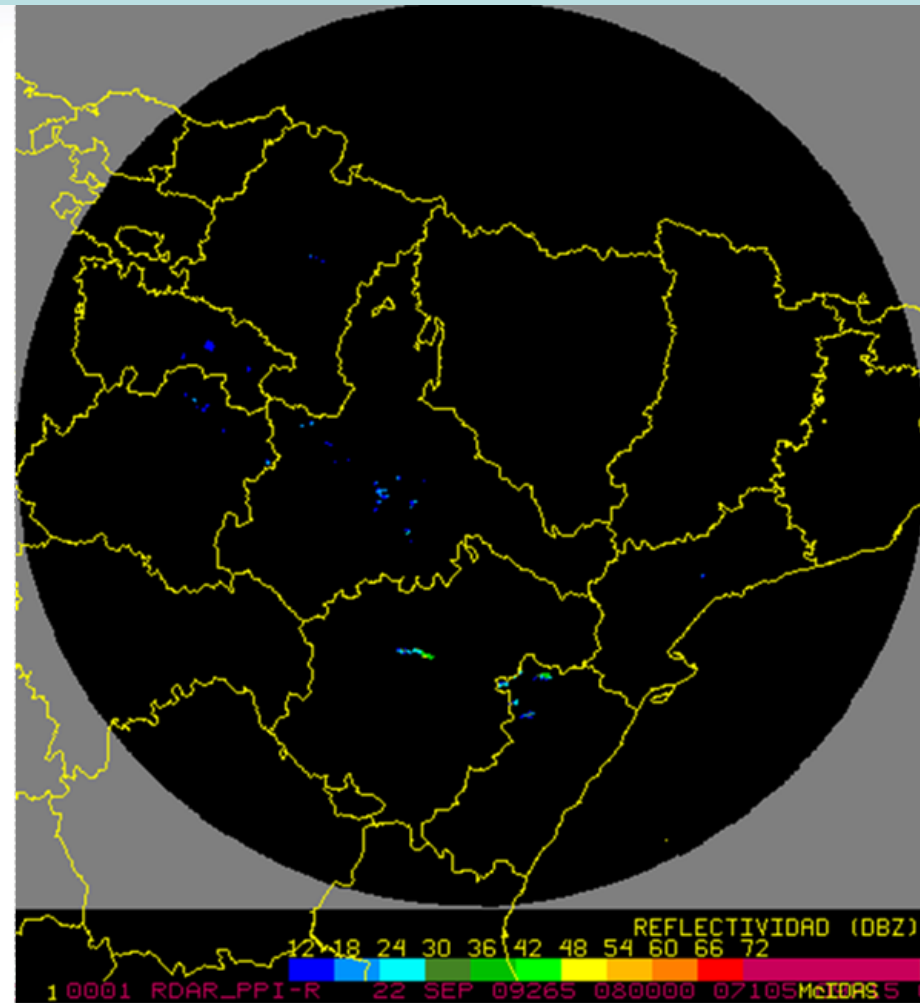
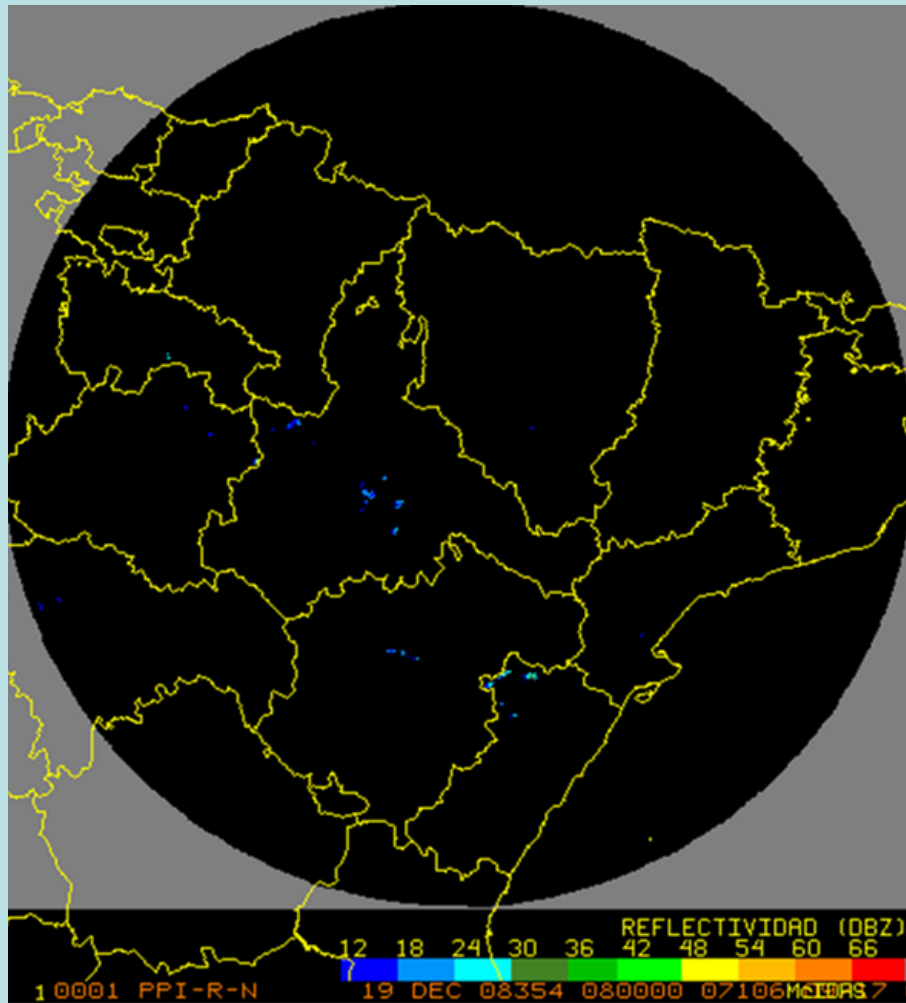
PPI (radar de Palencia. 24 mayo a 13:20 UTC)  
Ecos muy intensos de precipitación en un día de alta estabilidad atmosférica en capas bajas.





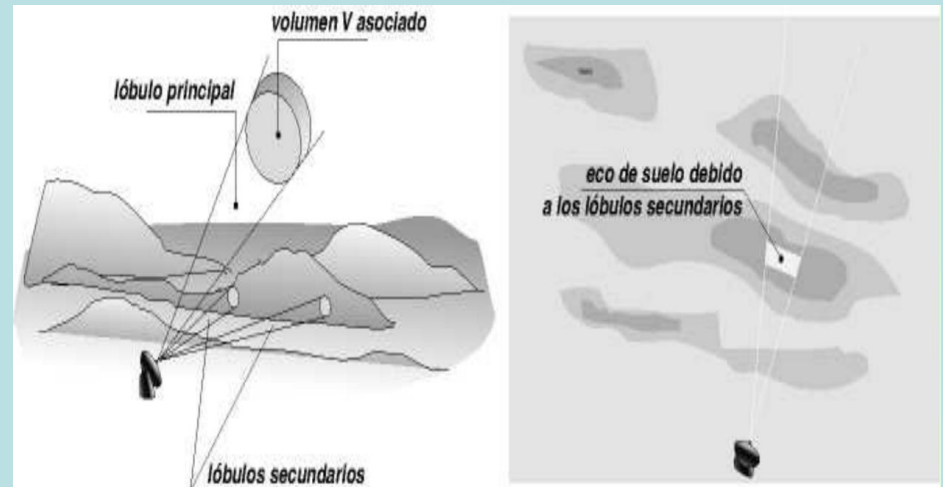
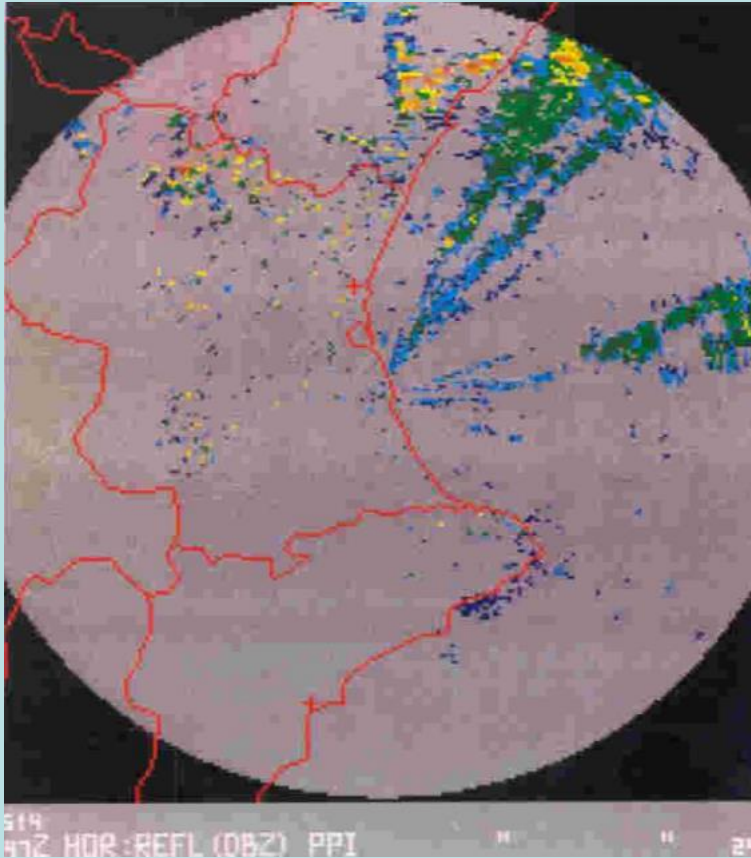


PPI radar de A Coruña a las 09:20 UTC (11:20 locales). Estructuras radiales de los ecos del mar, ligados a ecos lejanos que se ven atrapados en la capa estable de niveles bajos.



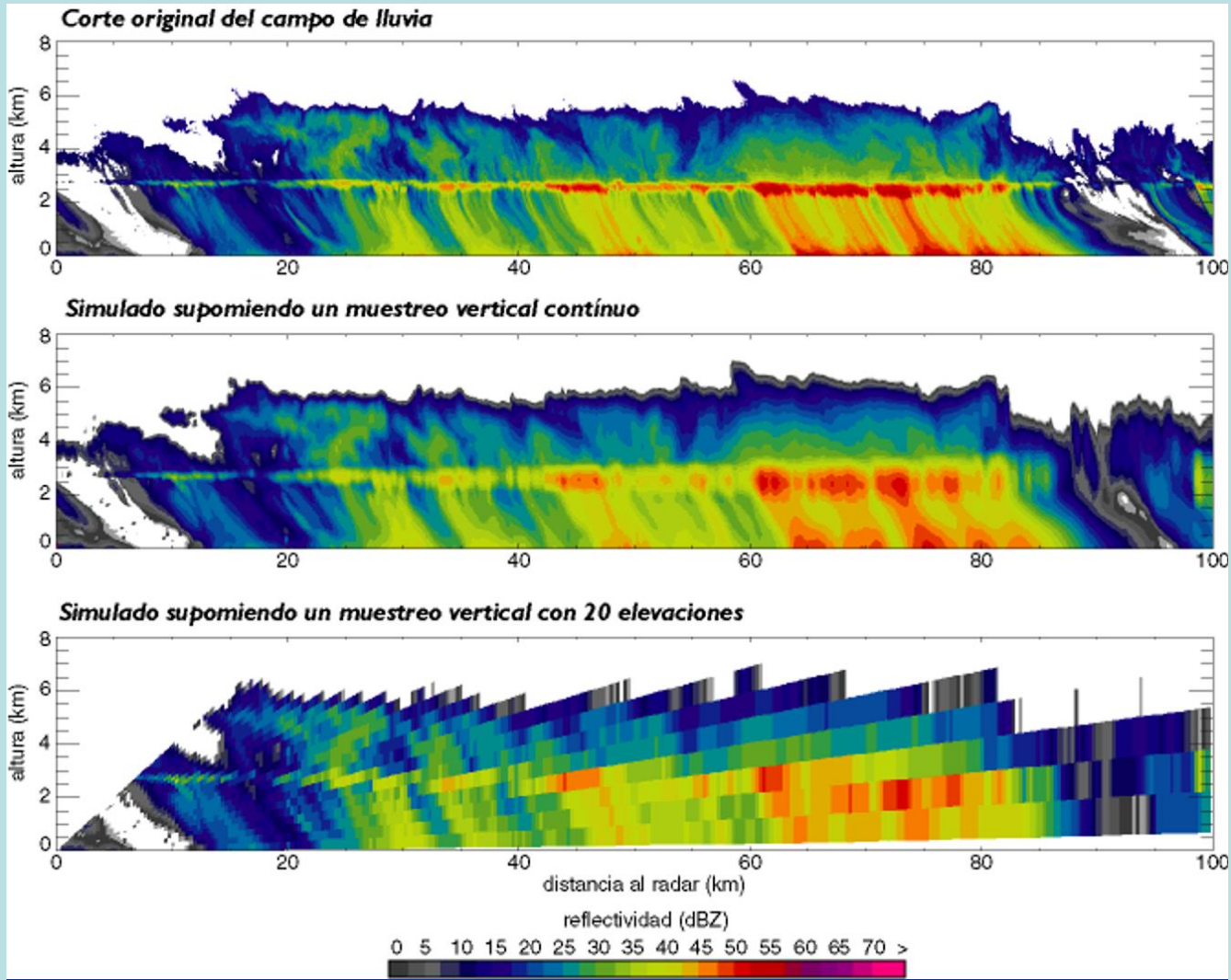
Ecos de molinos de viento: falsos ecos de precipitación

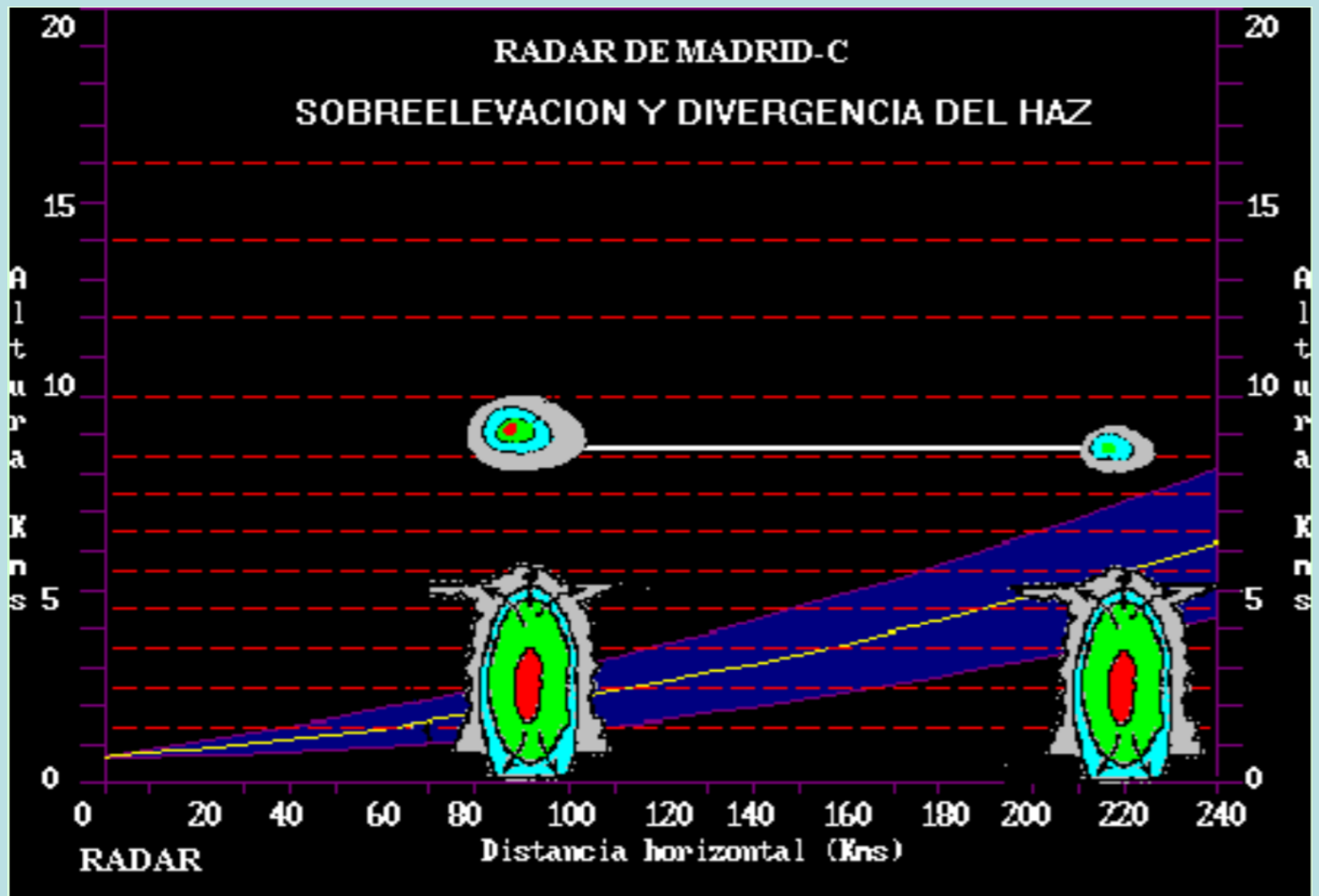
## Falsos ecos por lóbulos laterales



## Discretización temporal y espacial

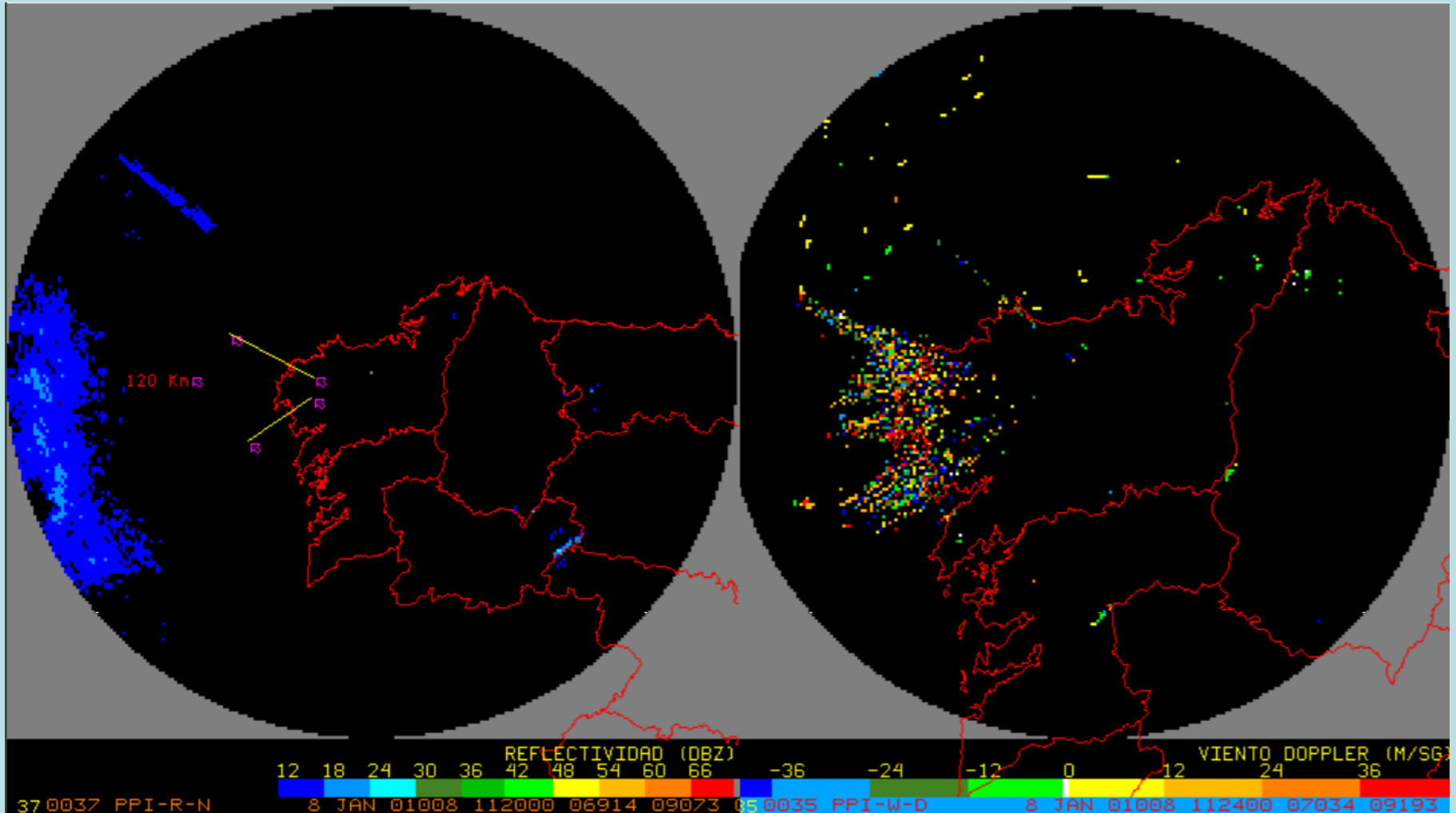
La resolución temporal necesaria depende de la aplicación que se va a dar a la información radar (vigilancia de procesos convectivos, hidrología, etc.)



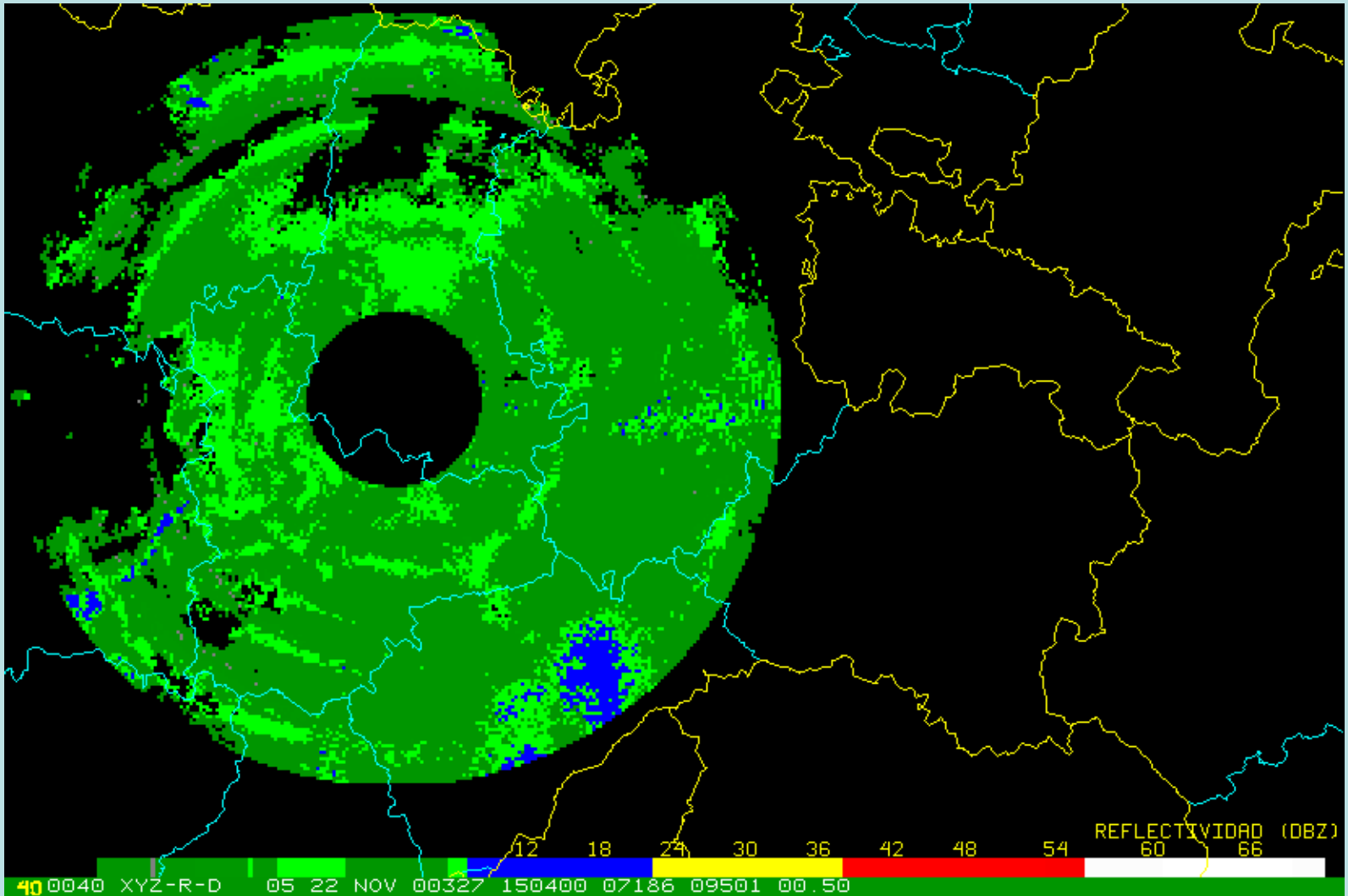


# Ecos de segunda generación:

Recepción durante el pulso n+1 de ecos procedentes del pulso n, situados más allá del alcance nominal del radar



Ecos en abanico. Proceden de una estructura de precipitación fuera del alcance<sup>126</sup>



**Mala interpolación a coordenadas cartesianas**

IMAGEN RADAR: PPI NACIONAL  
IMAGEN SAT.: 04/02/12 07:30 UTC

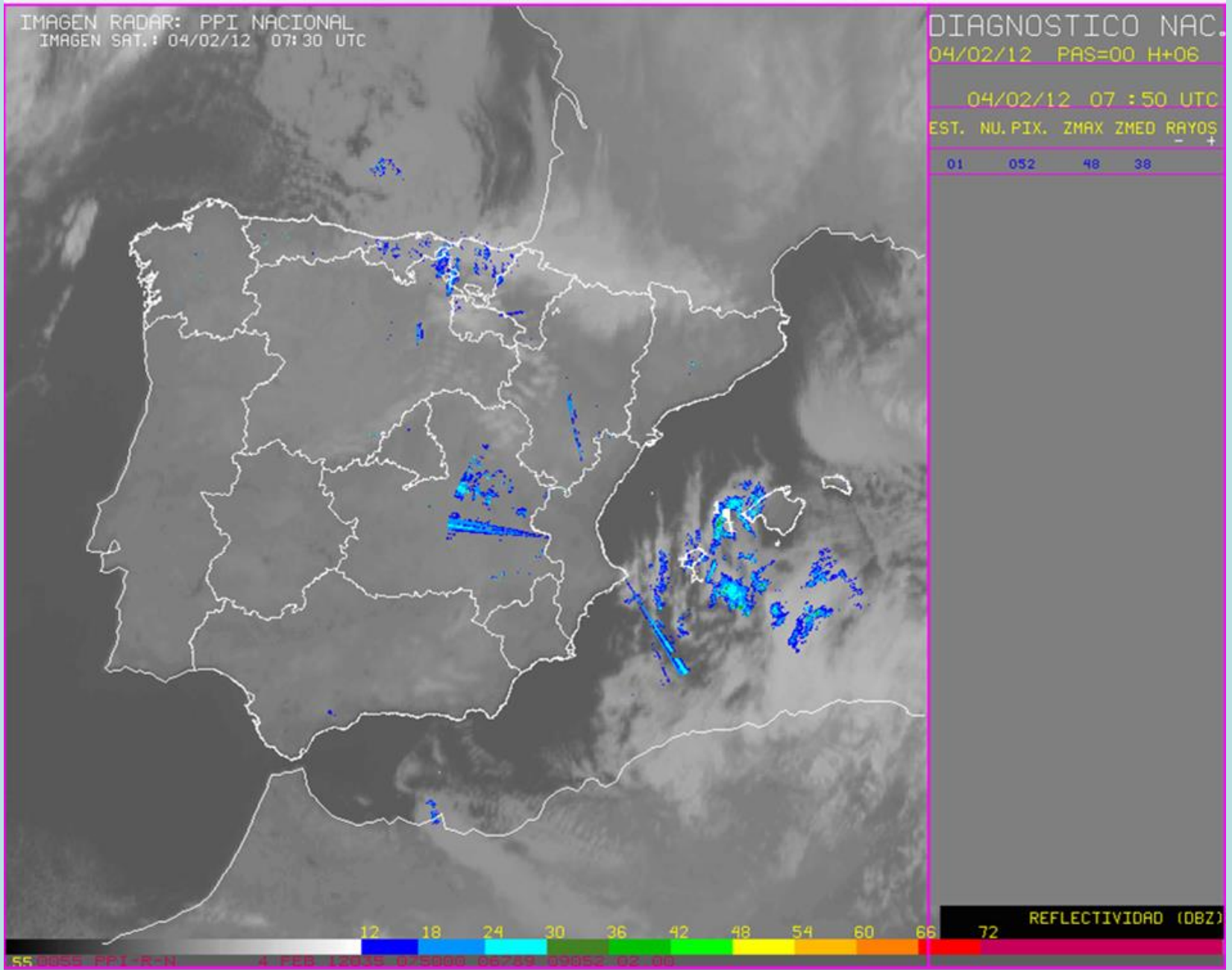
DIAGNOSTICO NAC.

04/02/12 PAS=00 H+06

04/02/12 07:50 UTC

EST. NU. PIX. ZMAX ZMED RAYOS  
- +

01	052	48	38
----	-----	----	----



Falsos ecos procedentes por interferencias con antenas wifi

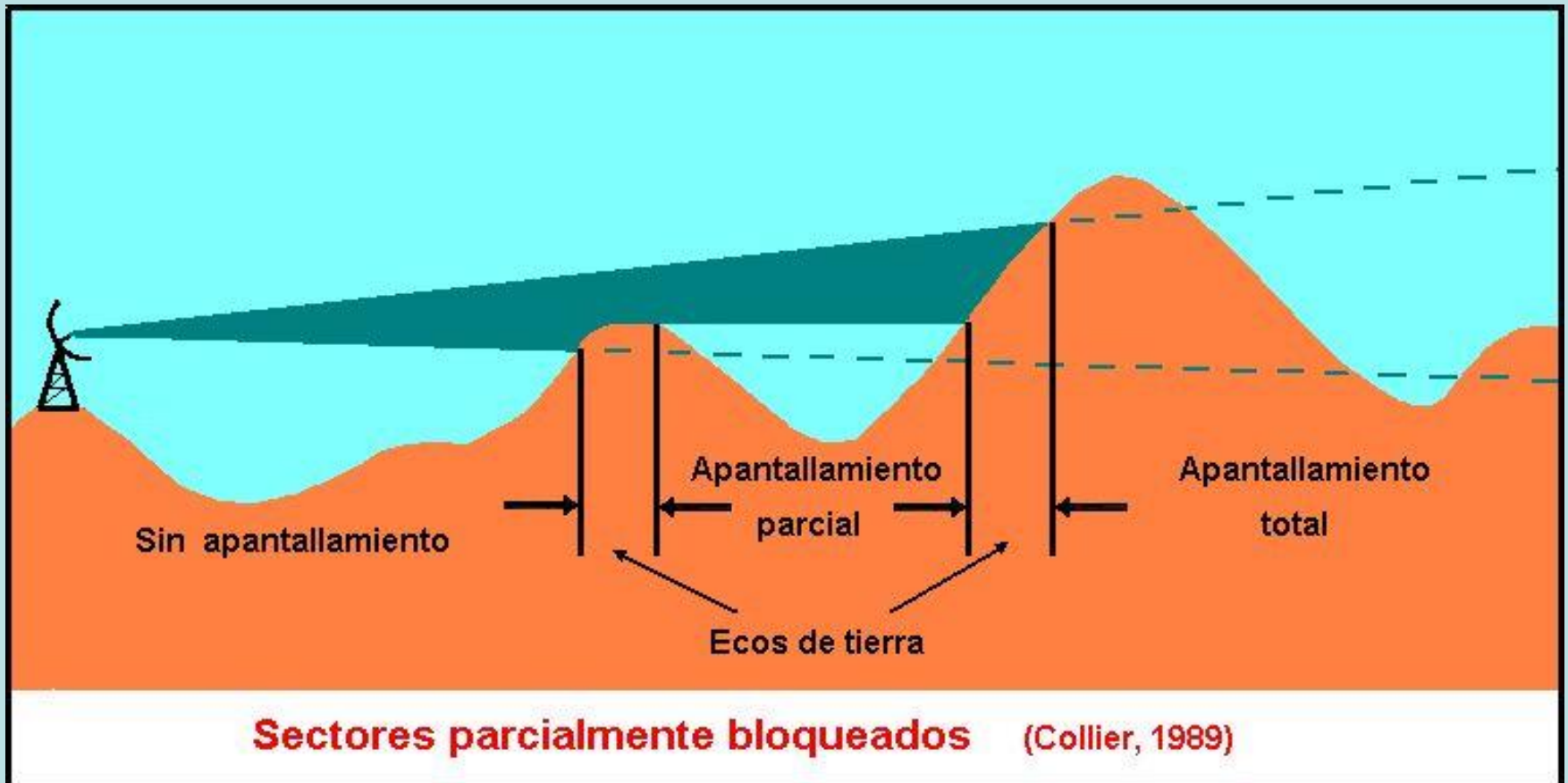


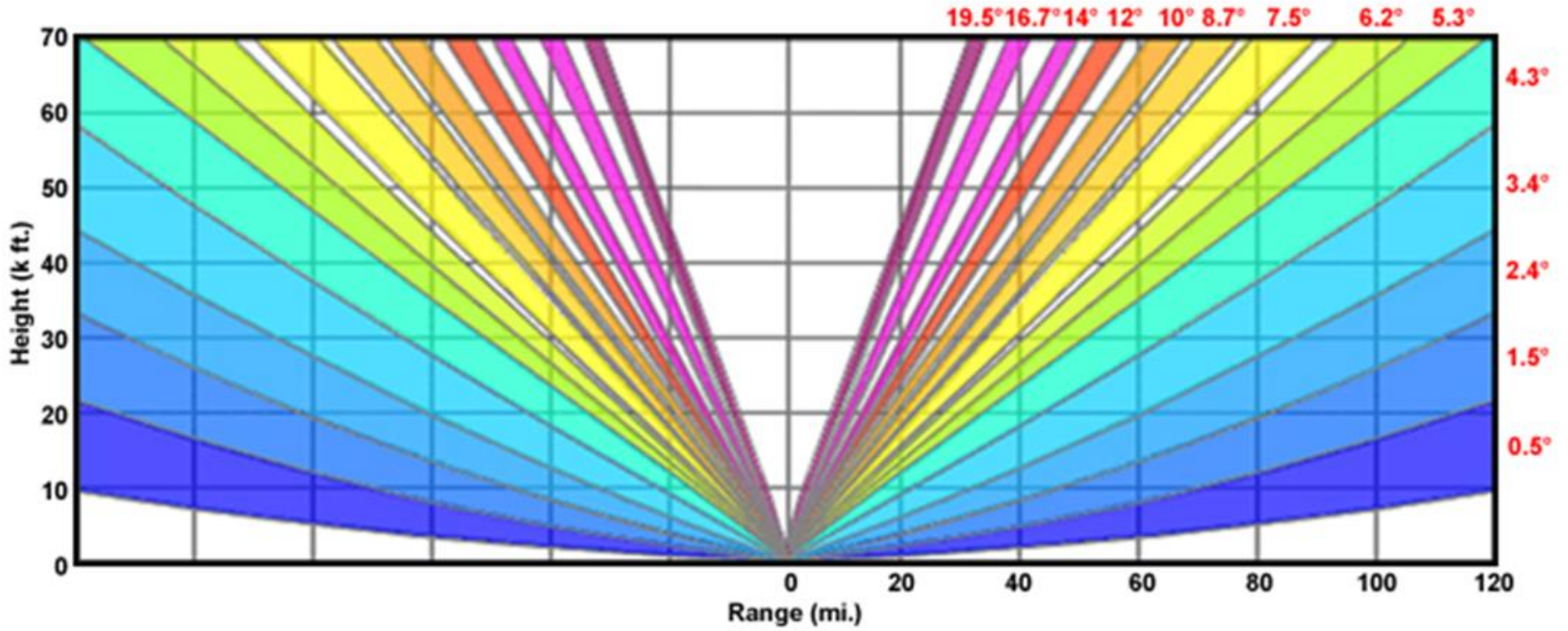
## Estimación incorrecta de la cantidad de precipitación

- Apantallamiento
- Atenuación
- Calibración

# Apantallamiento

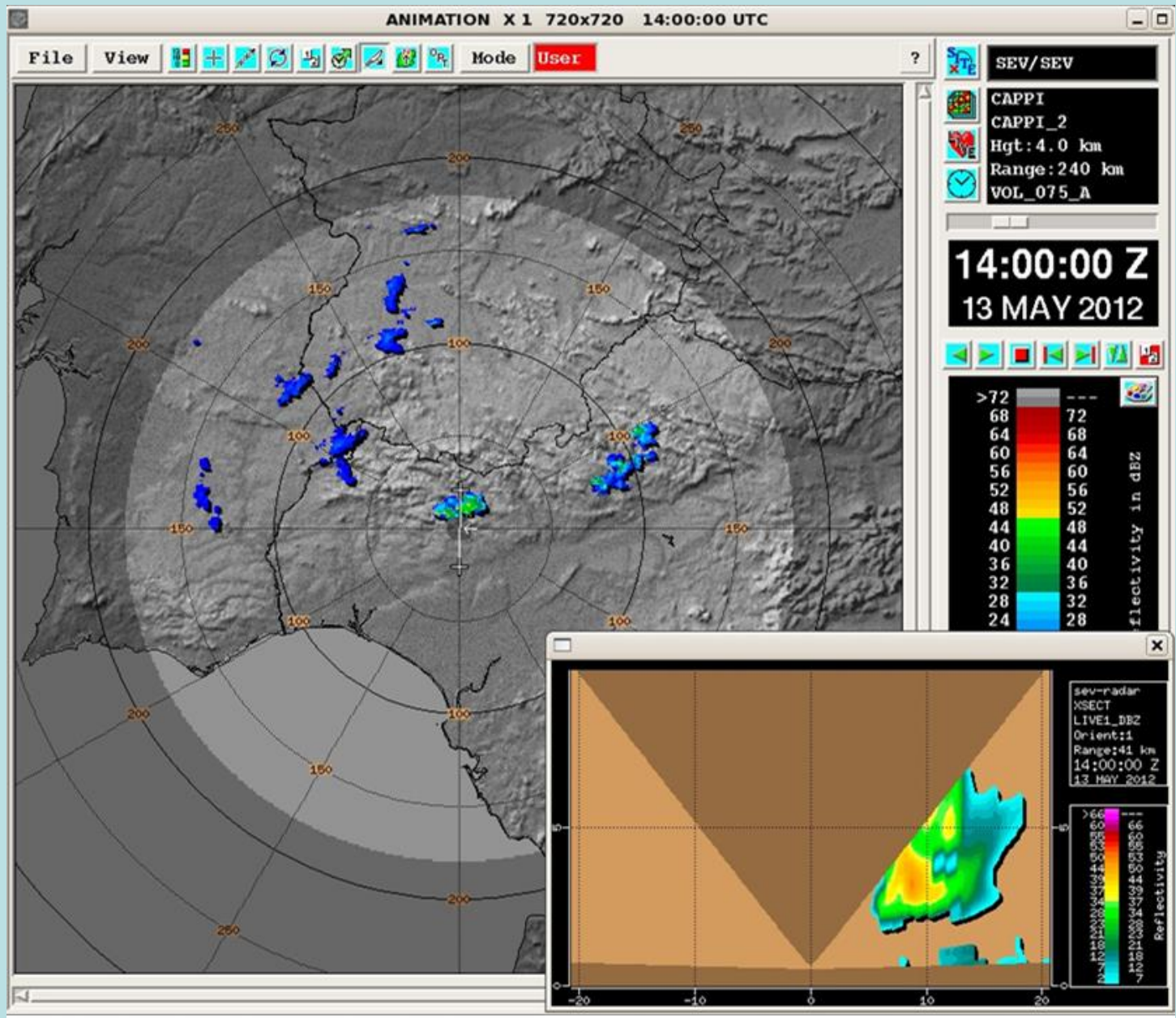
El bloqueo de la señal radar debido a las colinas y las montañas produce una reducción de la precipitación estimada por el radar en lugares que se encuentran por detrás de estas alturas





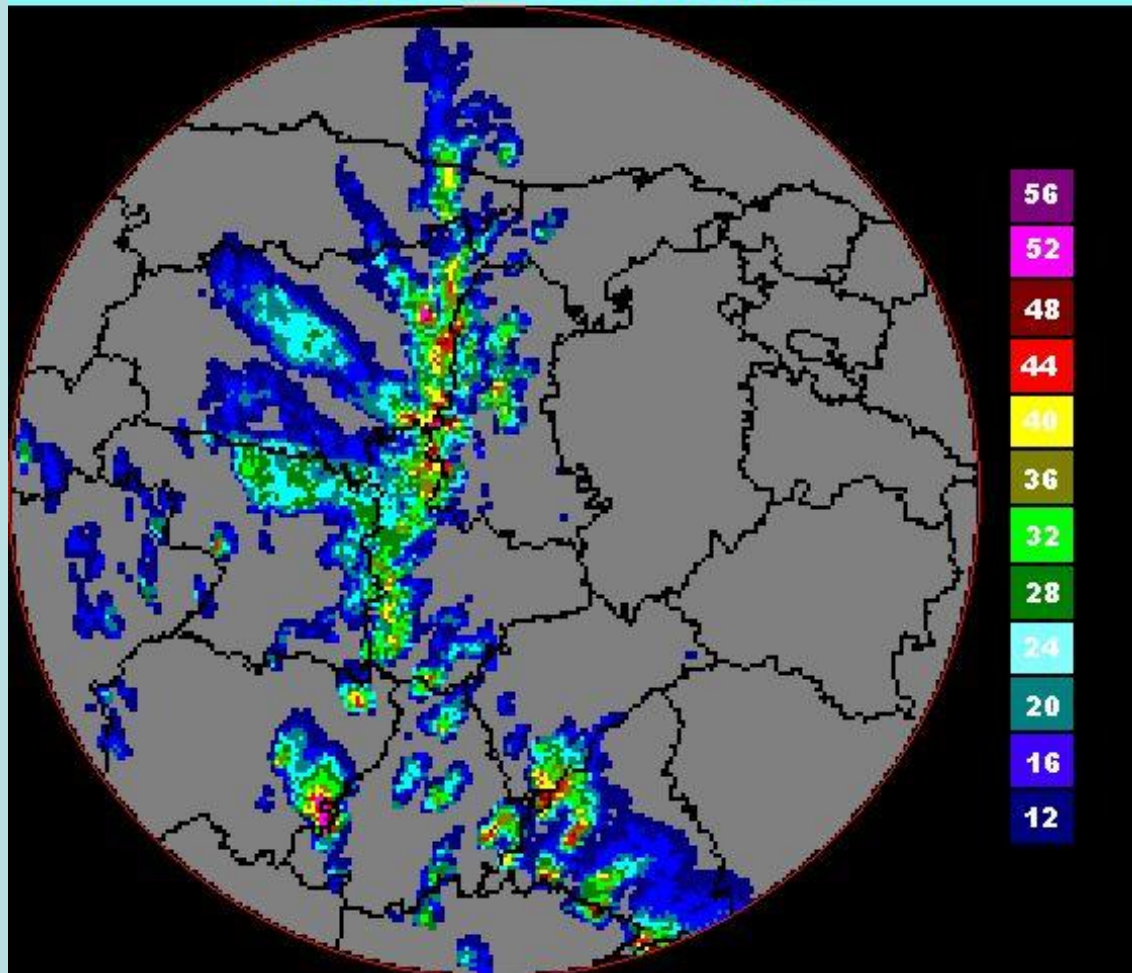
NOAA

Cono Ciego



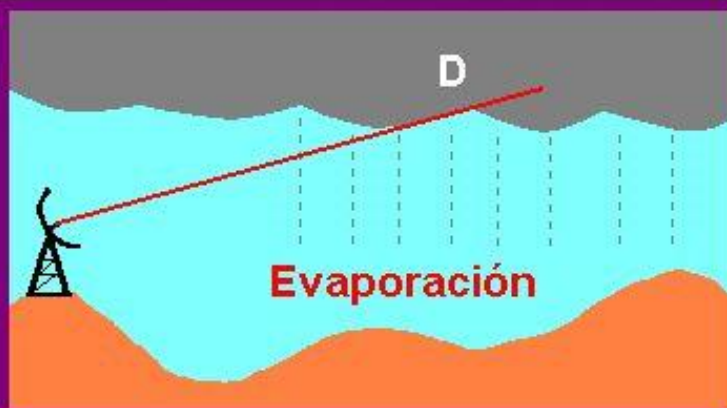
## ZONAS APANTALLADAS POR PRECIPITACIONES INTENSAS

1 - Junio - 1999 14:20 UTC



En el caso de intensas precipitaciones que se producen en las tormentas también se presenta este fenómeno de apantallamiento no pudiendo observar el radar lo que sucede tras la cortina de precipitación

# AUMENTO-DISMINUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN RADAR



Estas tres figuras representan posibles problemas asociados a la elevación del haz con la distancia.

Dependiendo de las características de las capas inferiores la precipitación puede sufrir:

## Disminuciones

- Al atravesar una capa más seca pueden experimentar **evaporaciones**.
- Si en niveles bajos existe **cizalladura del viento**, el flujo del aire haría caer la precipitación más allá de lo señalado por el radar.

## Aumentos

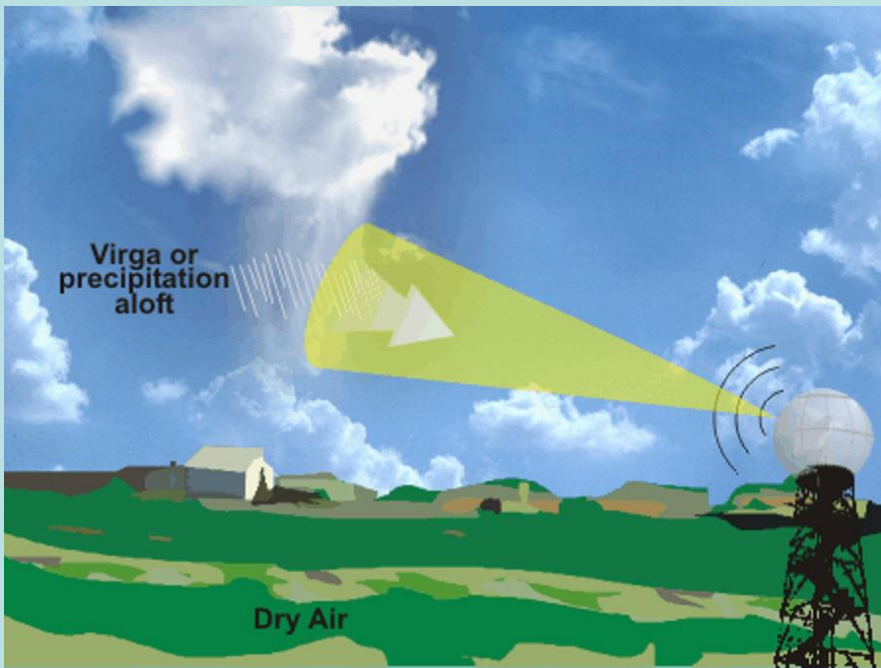
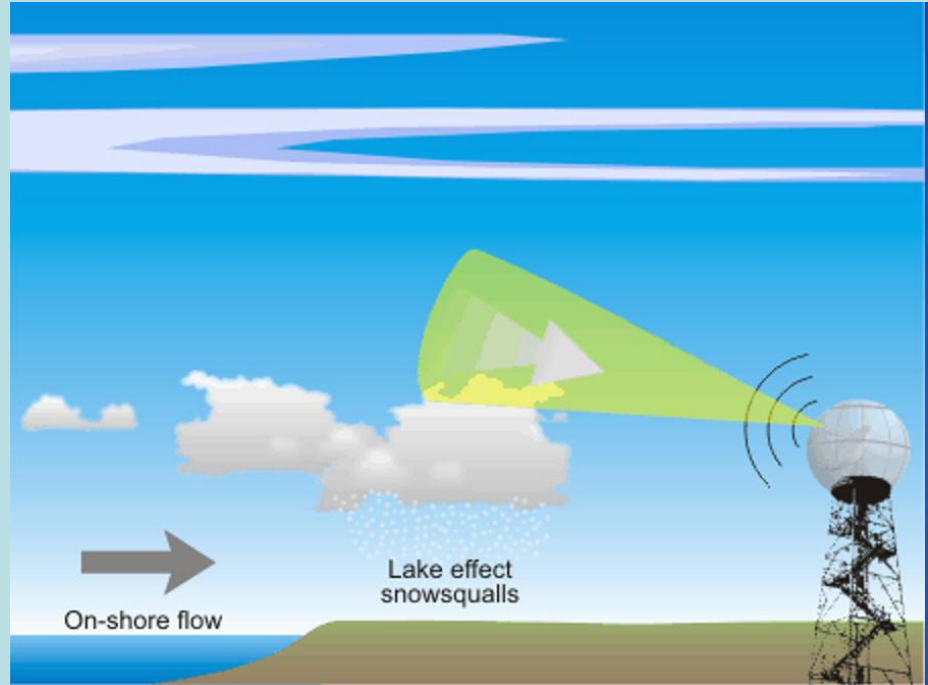
- Los **flujos de aire húmedos al ascender las laderas de las montañas** pueden producir un gran **incremento de la cantidad de precipitación cerca del suelo**

D = Precipitación débil

M = Precipitación moderada

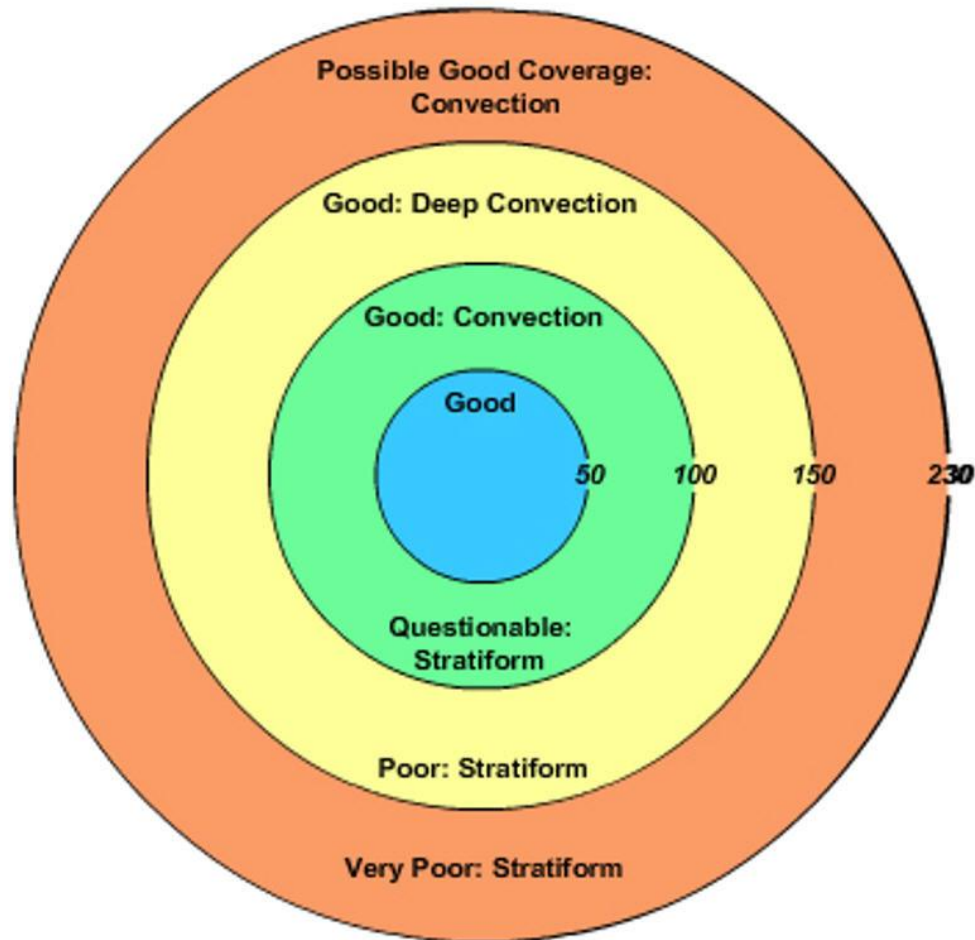
el radar mide la Reflectividad, Z,  
de un volumen a una cierta altura

Nuestra medida de interes:  
la intensidad de lluvia, R, junto el suelo



## Problemas cobertura y alcance radar

Radar Coverage of Precipitation with Range (km)—Assuming No Beam Blocking



Note: Coverage is worse for snow, and in areas of rugged terrain

©The COMET Program



## Problemas cobertura y alcance radar

### Influences On Radar Coverage



©The COMET Program

## Atenuación

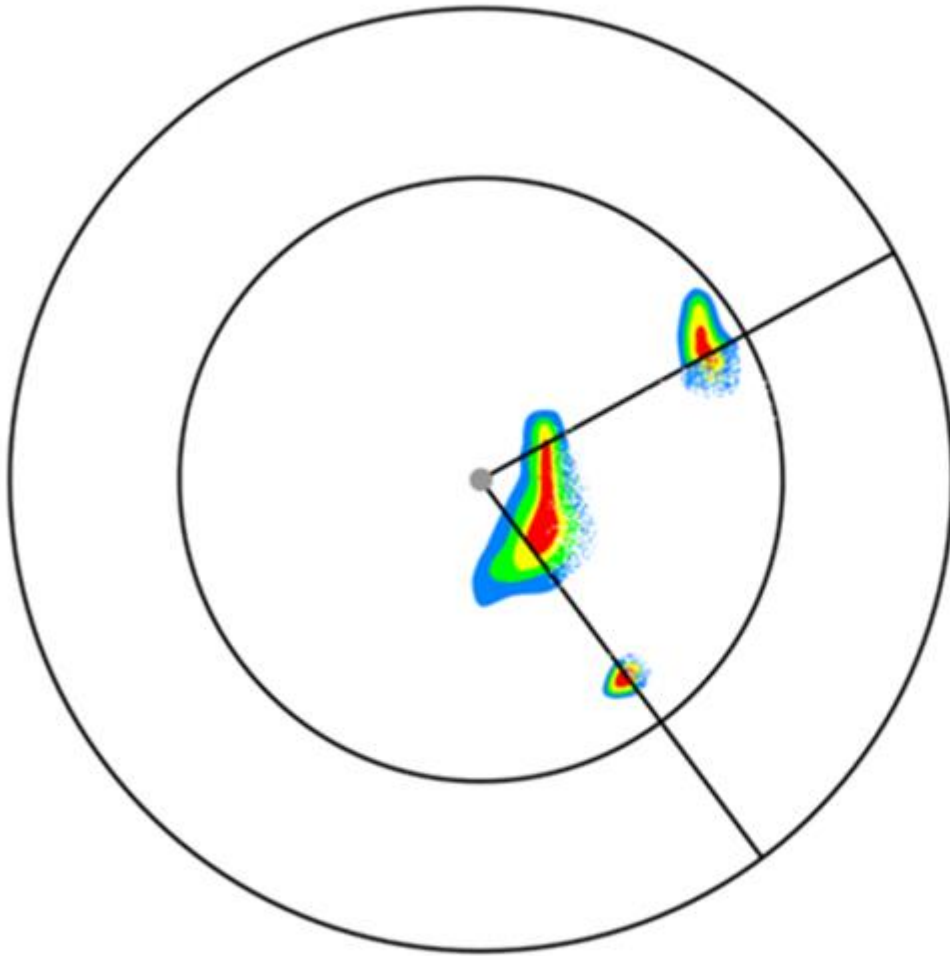
Es la **pérdida de energía que sufre el haz emitido por el radar a causa de la absorción y dispersión que sufre por parte de gotas, partículas y gases de la atmósfera**. En parte se tiene en cuenta en la ecuación radar (factor  $L^2$ ). Este factor depende de la naturaleza de los gases, partículas,... **Y sobre todo del tamaño de las partículas, de la temperatura y de la longitud de onda de la señal emitida.**

- Gases atmosféricos: pequeña, aunque puede ser significativa a distancias mayores de 60 km. Pero es prácticamente constante y se puede corregir.

- Las atenuaciones más importantes son las producidas por la propia precipitación..**

- Gotas de nube y partículas en suspensión: puede llegar a ser significativa, pero más difícil de corregir, ya que puede variar bastante.

- Gotas de lluvia: es la más significativa, y tanto más cuanto más intensa sea la precipitación y cuanto menor sea la longitud de onda del radar.



## Relación Z/R no representativa

**Las relaciones Z/R se basan en ciertas suposiciones** sobre el tamaño de las gotas para diferentes intensidades de precipitación.

**Tienden a sobrestimar la intensidad de precipitación de nubes tales como los Cb** que tienen una mayor proporción de gotas grandes que en las hipótesis realizadas.

Al contrario, aquellas **nubes con gotas más pequeñas** que las supuestas **tenderán a subestimar la precipitación.**

## Mala Calibración

Con el tiempo, **ciertas características técnicas del radar pueden variar** repercutiendo en ciertas constantes como: **la energía transmitida, la sensibilidad de los equipos de recepción.**

Es por esto que con frecuencia los radares se ven sometidos a calibraciones para corregir estos defectos.

# Banda Brillante

En la ecuación del radar meteorológico la energía devuelta dependía del blanco principalmente por:

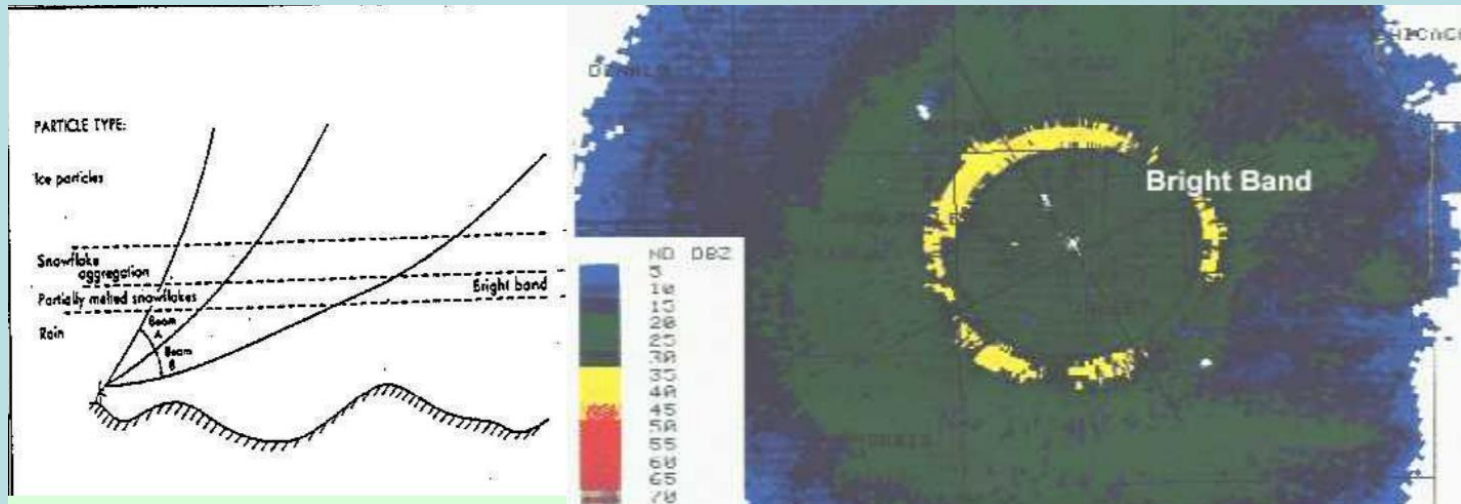
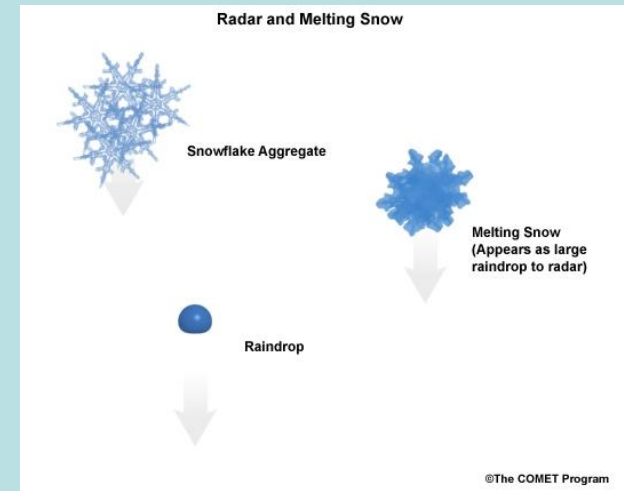
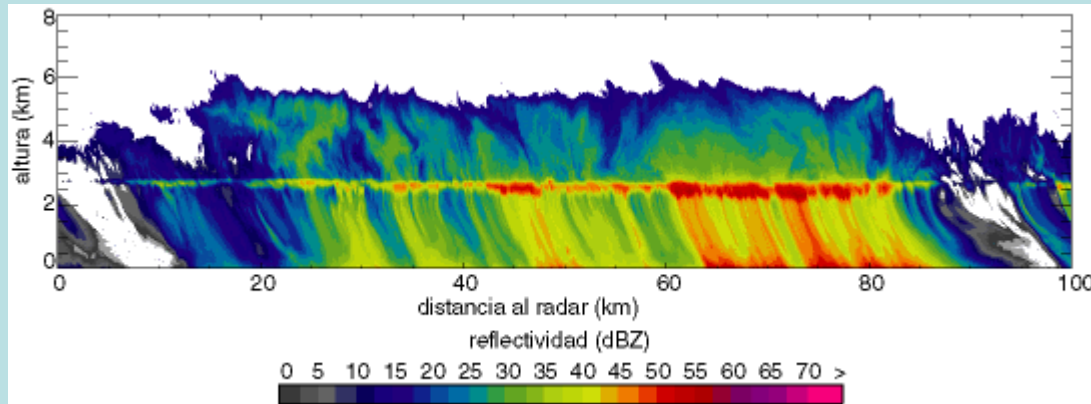
- **su tamaño**: cuánto más grande era el blanco más grande era la reflectividad Z.
- **su constante dieléctrica**

Para las longitudes de onda utilizadas por los radares de meteorología **la constante dieléctrica del hielo es 0,21 y la del agua es aproximadamente 0,93.**

Al llegar cerca de la isoterma de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  estas partículas se funden para convertirse en gotas de agua. La reflectividad aumenta bruscamente en **6 dBz**. Si se utiliza un corte vertical se vería como una banda casi horizontal con reflectividad más alta a la altura de la isoterma de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De esta forma de presentarse recibió el nombre de "banda brillante".

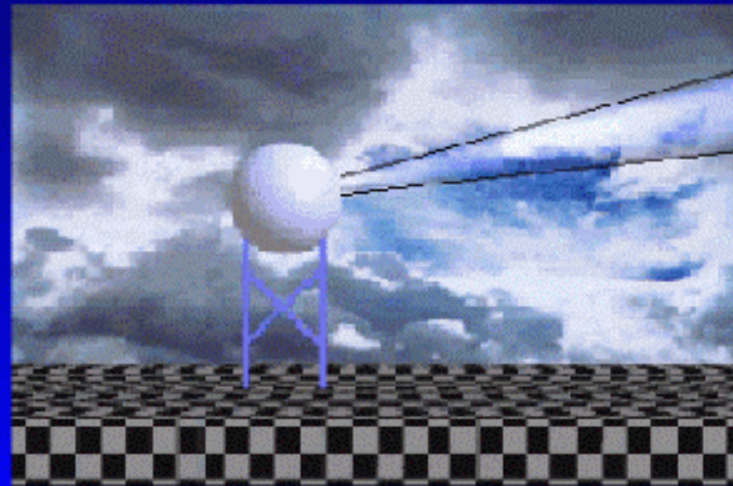
**En una imagen PPI la banda brillante sería un arco, o un anillo** si las precipitaciones son lo suficiente extensas, de reflectividad realzada rodeando al radar.

**Banda brillante:** aumento de la intensidad de la señal cerca de la isocero. Se debe al cambio de constante dieléctrica del agua al pasar de fase sólida a líquida.



# Why Are Spotters so Important?

- Doppler Radar cannot see to ground level
- Real-time Warning Decisions
- Verification
- Storm Data
- “Eyes” of the NWS and your community



Realidad actual: Necesidad de observadores en tiempo real de fenómenos atmosféricos (especialmente violentos)



## **BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN:**

- **Curso de radar de Juan Pablo Álvarez Alonso (AEMET)**
- **Radar Research and Development Dept. NSSL (EEUU)**
- **Rafael Sánchez-Diezma (Tesis, 2001) de la UPC**
- **Radar Dept. McGill University (Canada)**
- **Curso de radar de Francisco Martín León (AEMET)**
- **Curso de radar de Ismael San Ambrosio (AEMET)**
- **Módulos COMET (NCAR)**
- **NWS (USA)**
- **[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/home.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/home.rxml)**

PIB-M. FASE PRESENCIAL. 2023  
RADARES

## 4.- PRODUCTOS RADAR

Jesús Riesco Martín.  
jriescom@aemet.es

## ÍNDICE TEMÁTICO

- 1.- Productos en rango largo y corto
- 2.- Imágenes auxiliares
- 3.- Composición nacional: problemática y tácticas
- 4.- Productos mosaico nacional y cobertura

# 1.- Productos en rango largo (AEMET)

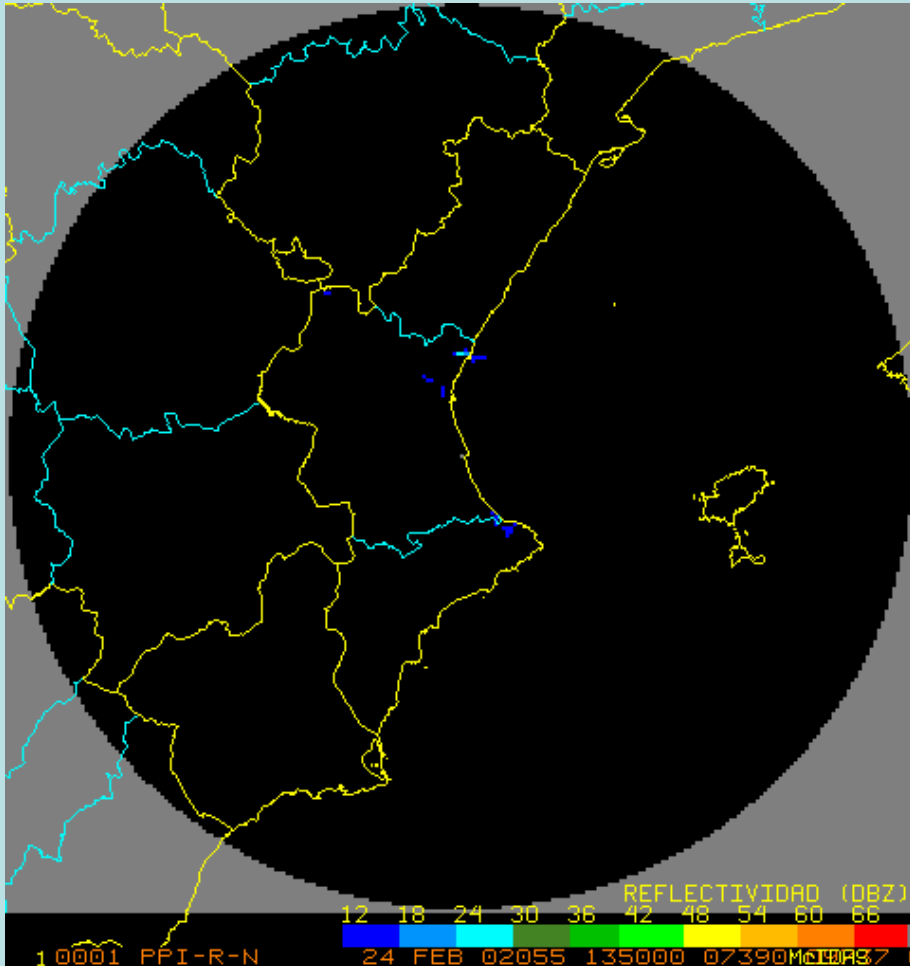
# Tipos de rangos (alcances)

Rango largo (240 km):

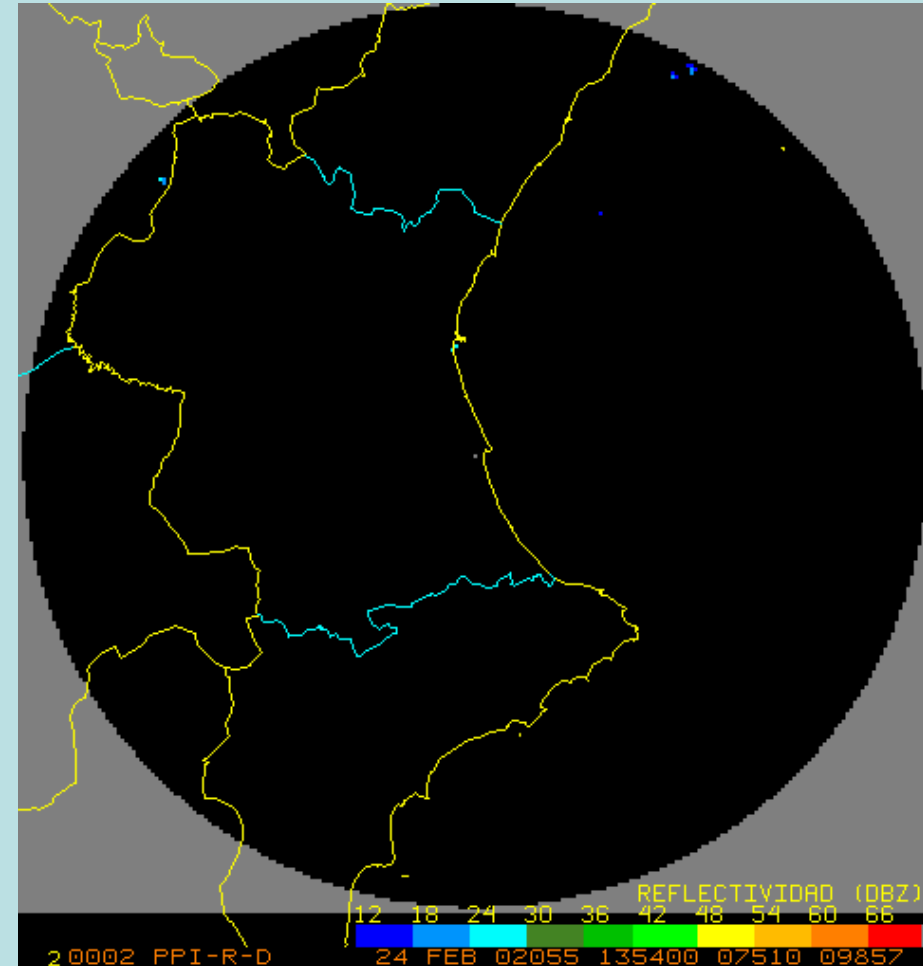
- PPI de reflectividad (Z)

Rango Corto (120 km):

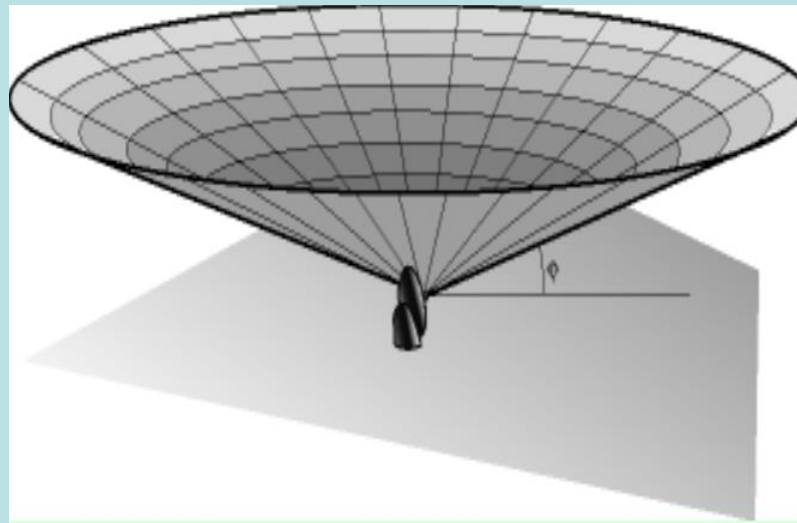
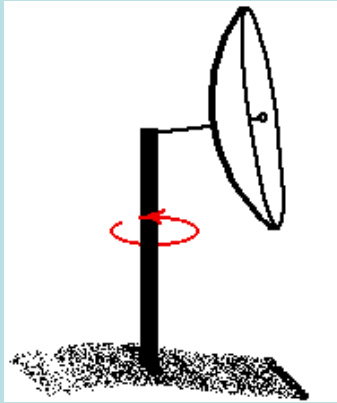
- PPI de reflectividad (Z)
- PPI de velocidad radial (Vr)
- PPI de turbulencia (W)



PPI "largo"



PPI "corto"

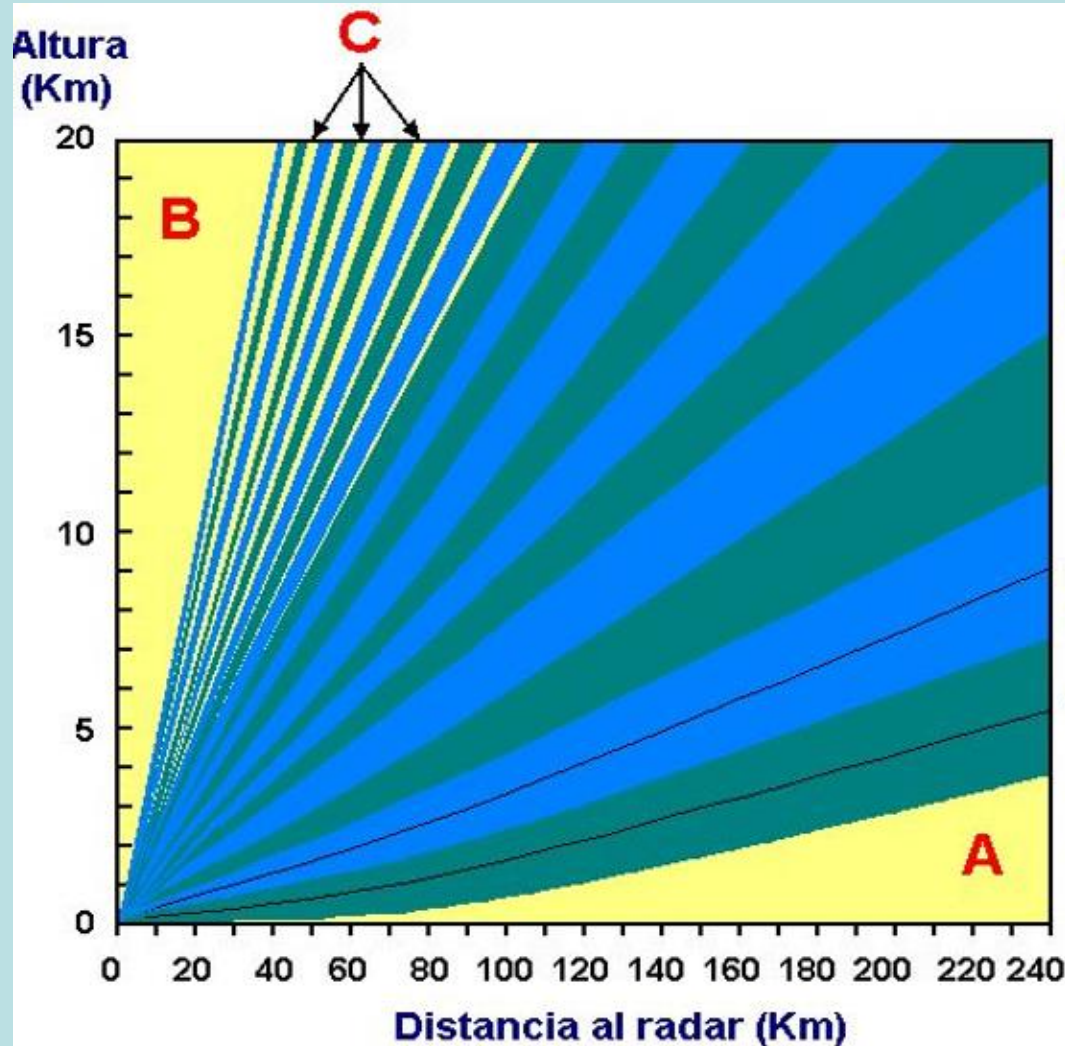


Por **exploración** se entiende un **barrido de  $360^\circ$  en acimut** para cada **elevación**. Cuántas **más exploraciones** se realicen **mayor número de datos** y **mejor resolución** espacial tendremos **pero** consumirá **más tiempo de proceso**.

En modo normal realiza **20 exploraciones** que van desde la más baja con una elevación de  $0,5^\circ$  hasta la más alta de  $25,0^\circ$

El **resultado** del barrido volumétrico es un **volumen de datos en coordenadas polares** (radio -  $r$ , acimut -  $\theta$ , elevación -  $\alpha$ ) que posteriormente **se transforma a coordenadas cartesianas** ( $x, y, z$ ), mediante un **método de interpolación**.

# a) Volumen POLAR.



## DESTACAMOS

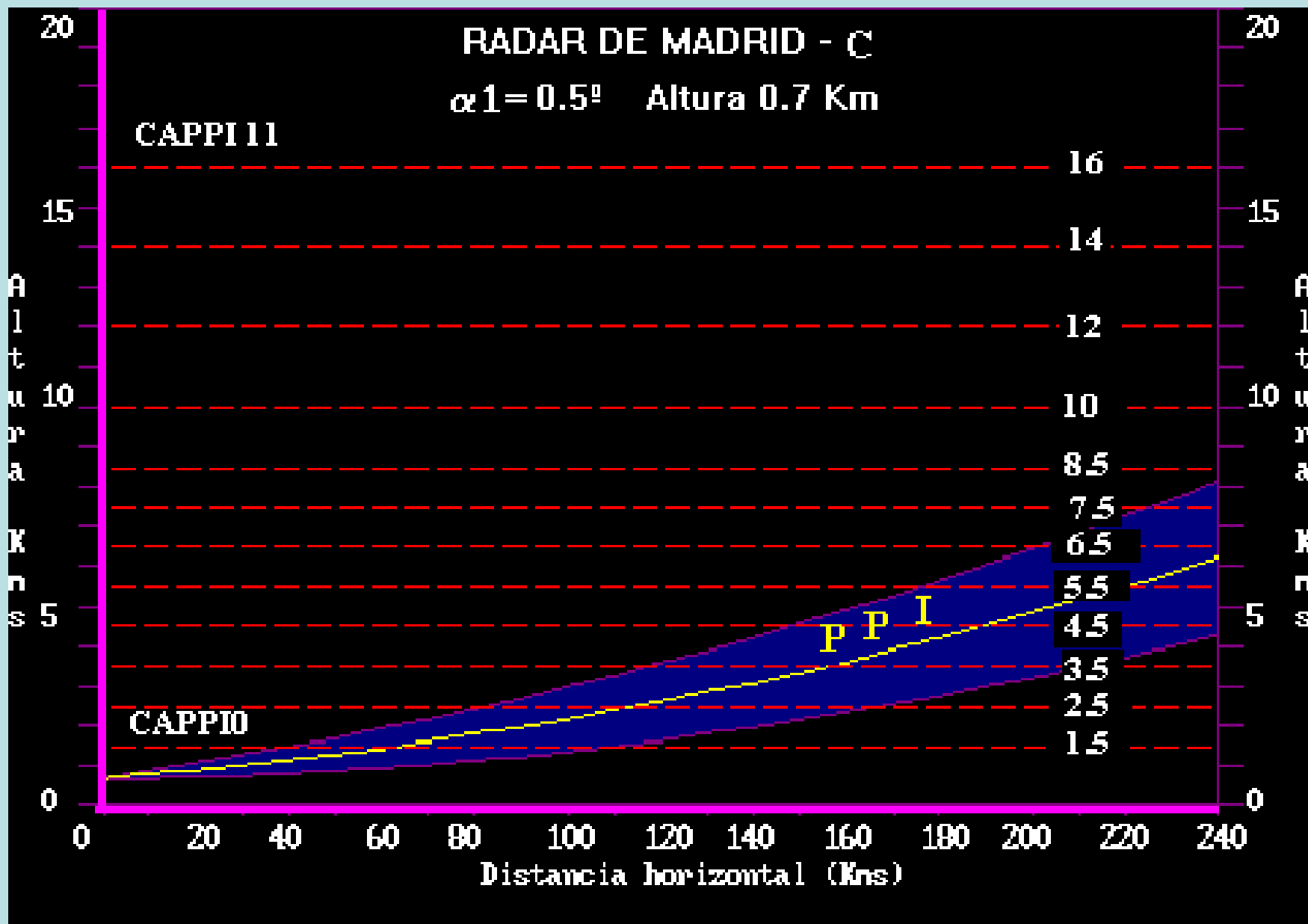
- 1.- Las **sobreelevaciones de los haces** con la distancia.
- 2.- La **divergencia del haz** con la distancia:
  - **Pérdida de resolución.**
  - **Aumento de ecos fijos** en las cercanías del radar.
- 3.- **Ausencia de solapamiento** entre dos elevaciones.
- 4.- **Zonas oscuras:**
  - **Cono inferior (A)**
  - **Cono superior (B)**
  - **Discontinuidad** entre las exploraciones (**C**)

# PPI (Plan Position Indicator)

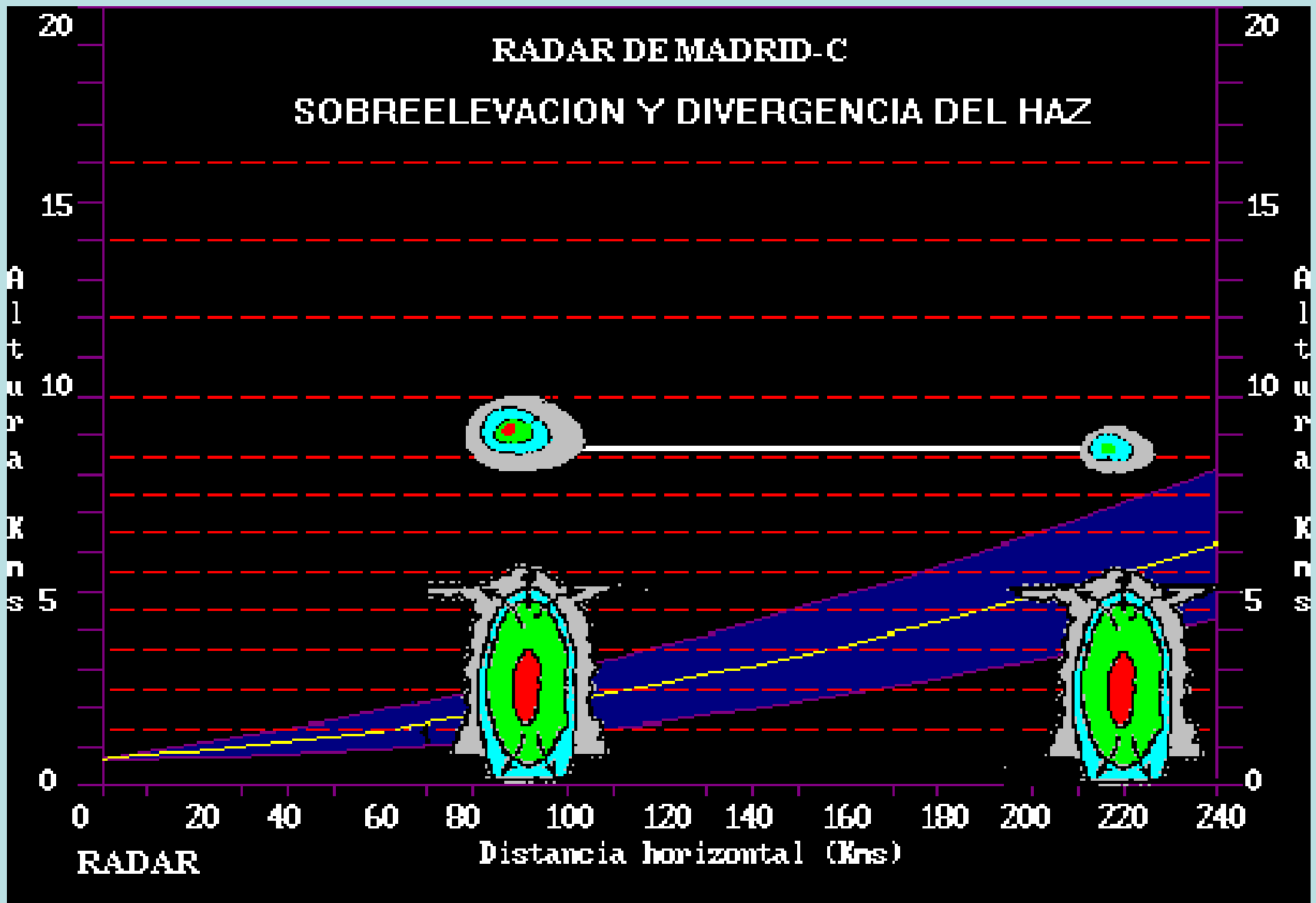
Es la **presentación más frecuente** de la información sobre la pantalla.

- Corresponde a la **exploración más baja** realizada por el radar.
- **Los datos se proyectan sobre una superficie plana** para su visualización.
- **La información que proporciona abarca desde alturas muy bajas cerca del radar hasta alturas elevadas en los puntos más lejanos** debido a la sobre-elevación del haz con la distancia.



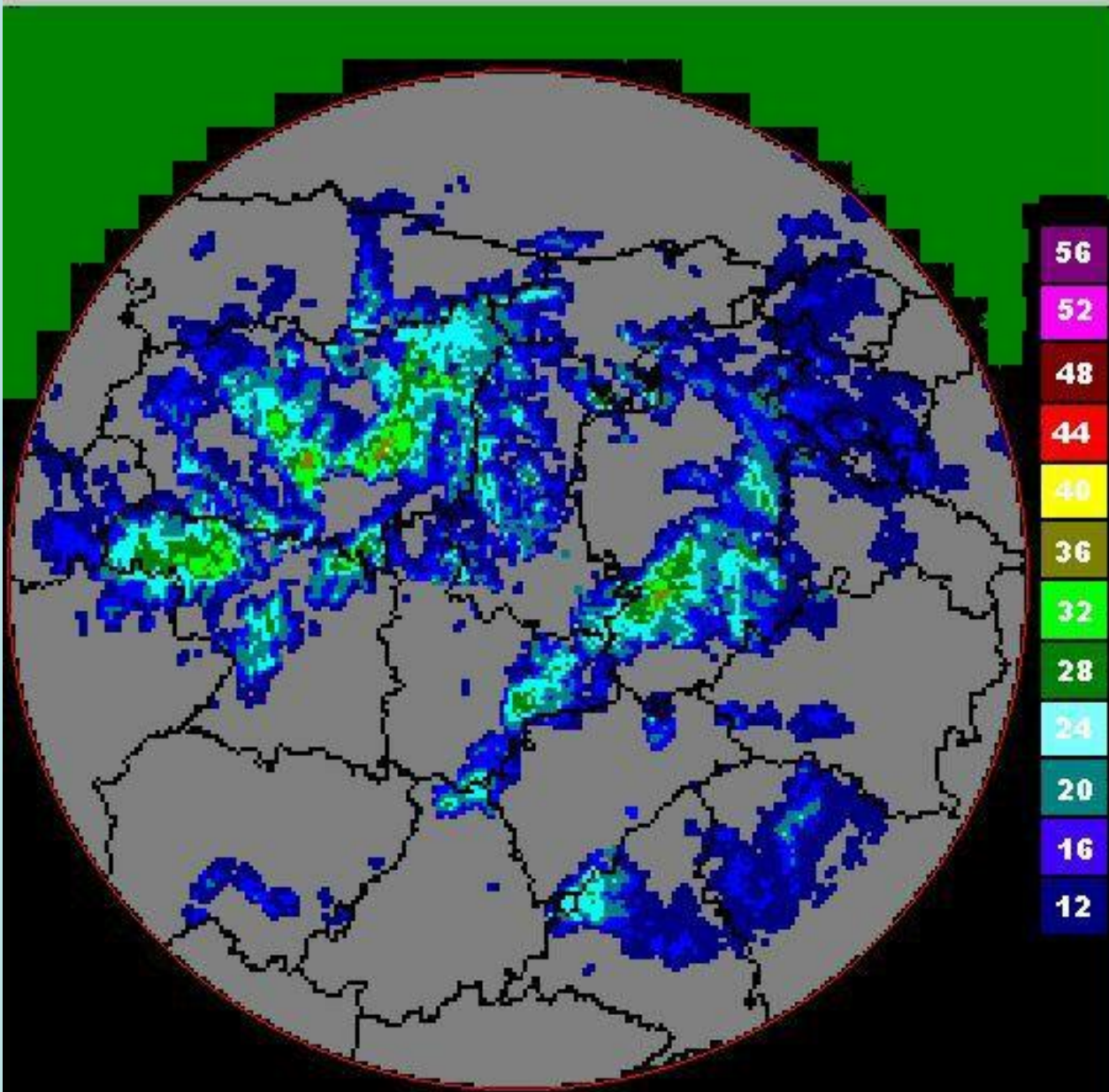


PPI → elevación del haz



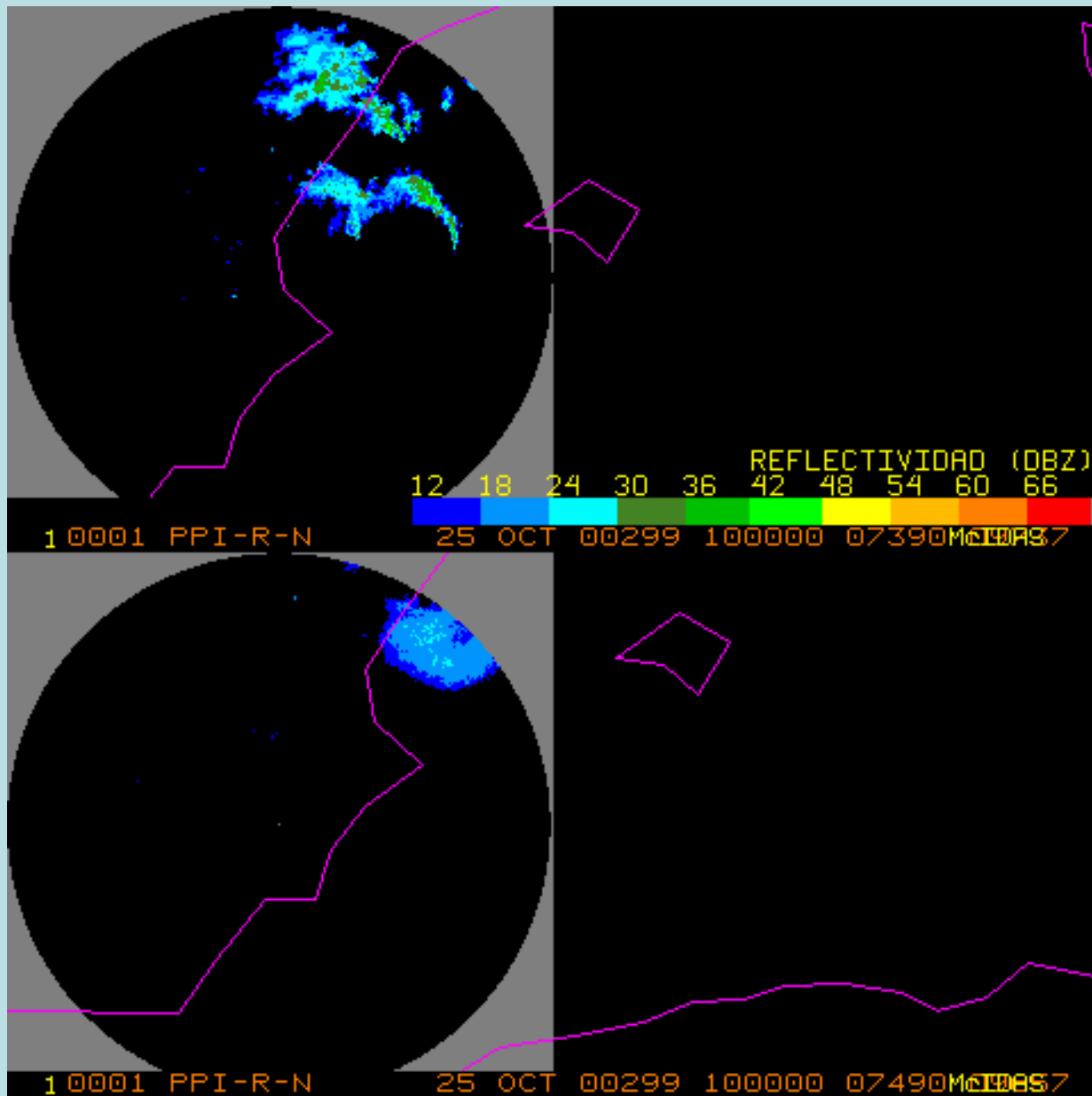
Problemas de sobre elevación y divergencia del haz

## IMAGEN PPI DE REFLECTIVIDAD

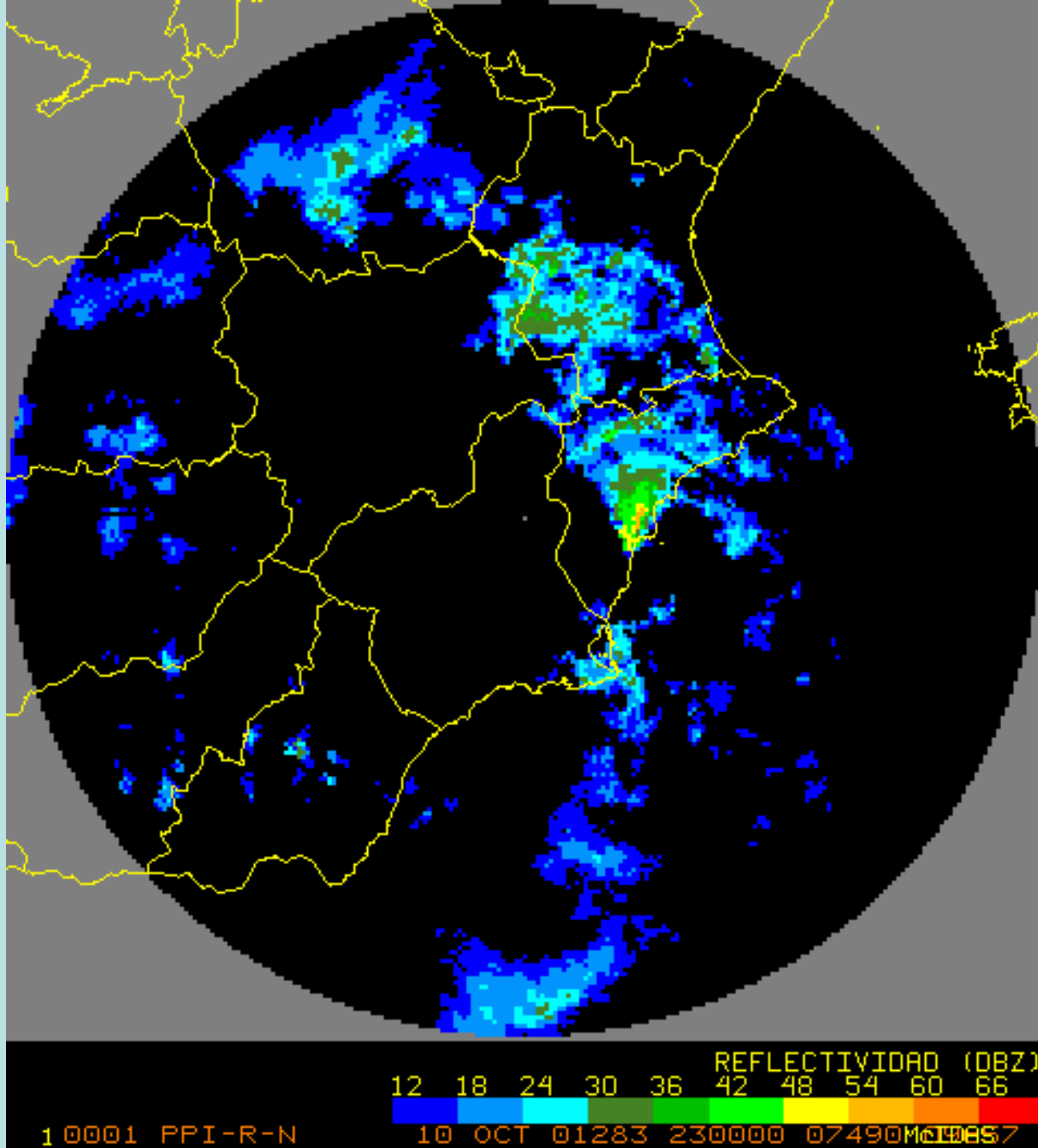


El PPI es la exploración más baja realizada por el radar y la más cercana al suelo.

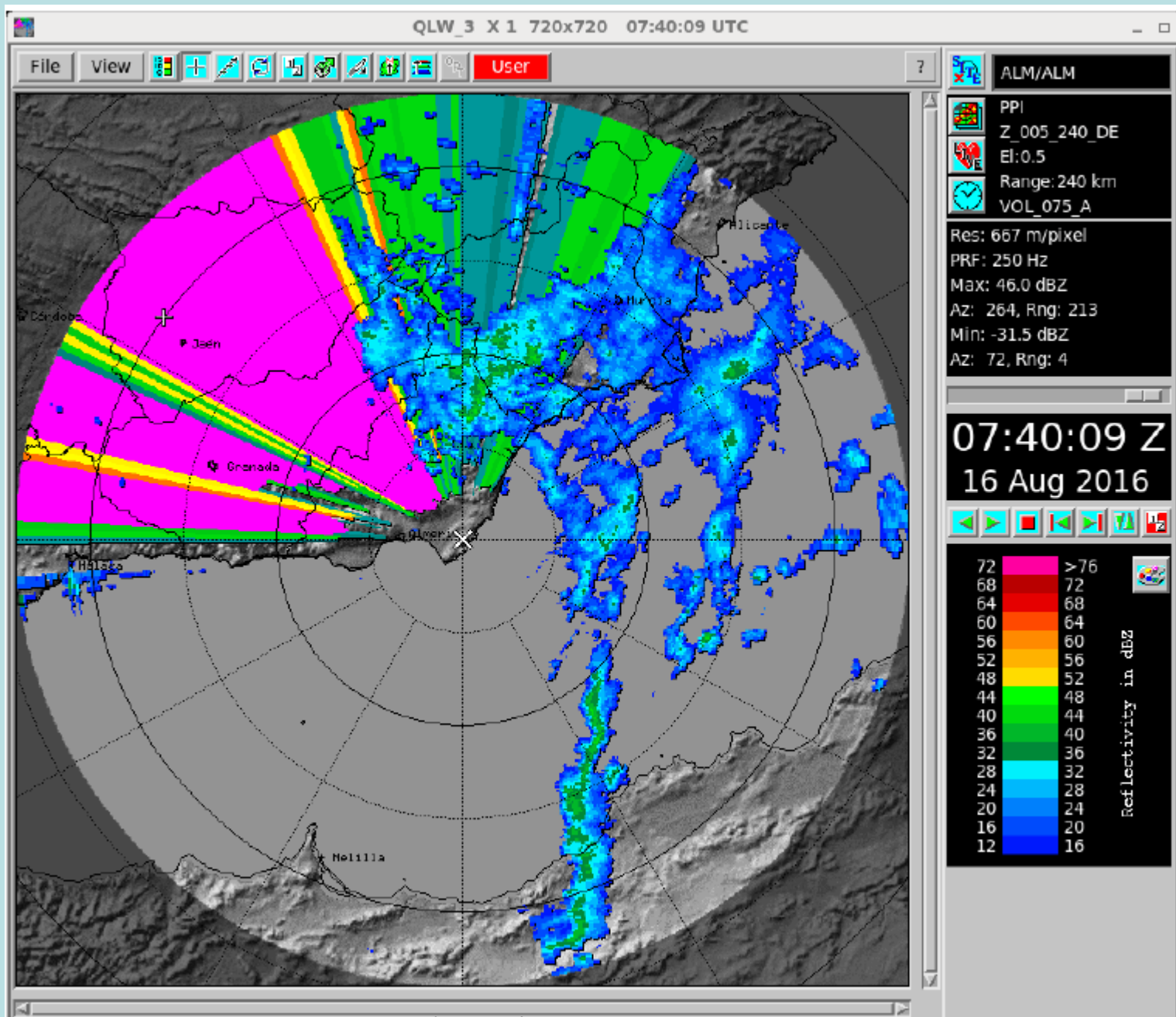
Teniendo presente las limitaciones en la estimación de la precipitación, hay que esperar que en las zonas con mayor reflectividad (León, Burgos, Sanabria) les corresponda las precipitaciones más intensas.



Ejemplo de sobre elevación y divergencia del haz



PPI asociado a convección



PPI con ocultación

## b) Volumen Cartesiano. Productos

### CAPPI (Constant Altitud Plan Position Indicator)

Los CAPPI,s forman parte del volumen cartesiano.

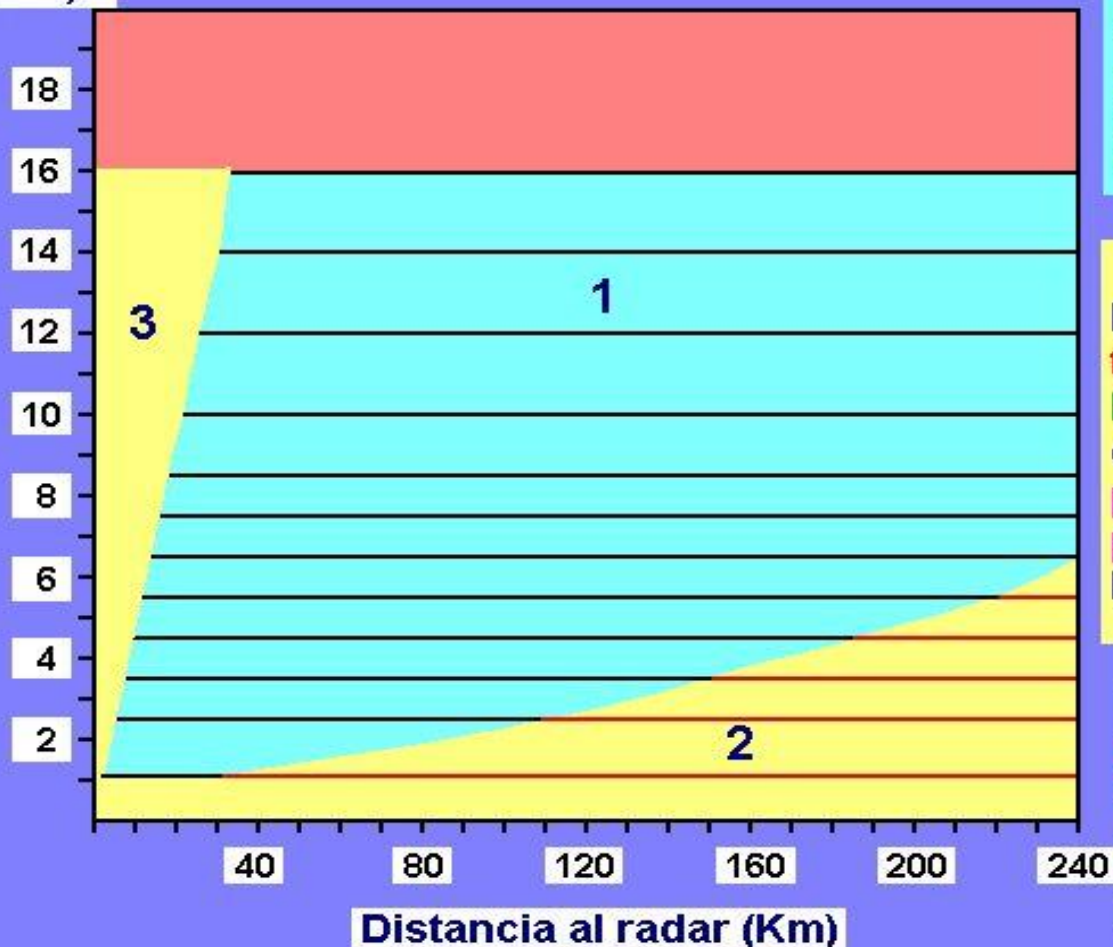
Los datos meteorológicos obtenidos por el radar se representan en un sistema cartesiano  $(x, y, z)$  donde  $z = \text{cte}$  son superficies de altura constante.

**Volúmenes cartesianos:** (reflectividad, viento, turbulencia)

En general, como los puntos del volumen cartesiano no coinciden con los del volumen polar, se realiza un proceso de interpolación para pasar los datos de un volumen a otro.

# REGIONES DEL VOLUMEN CARTESIANO

Altura  
(Km)



## ZONA 1

Es el **volumen cartesiano** verdadero quedando sus **puntos por encima del PPI** y fuera del cono de sombra.

## ZONA 2

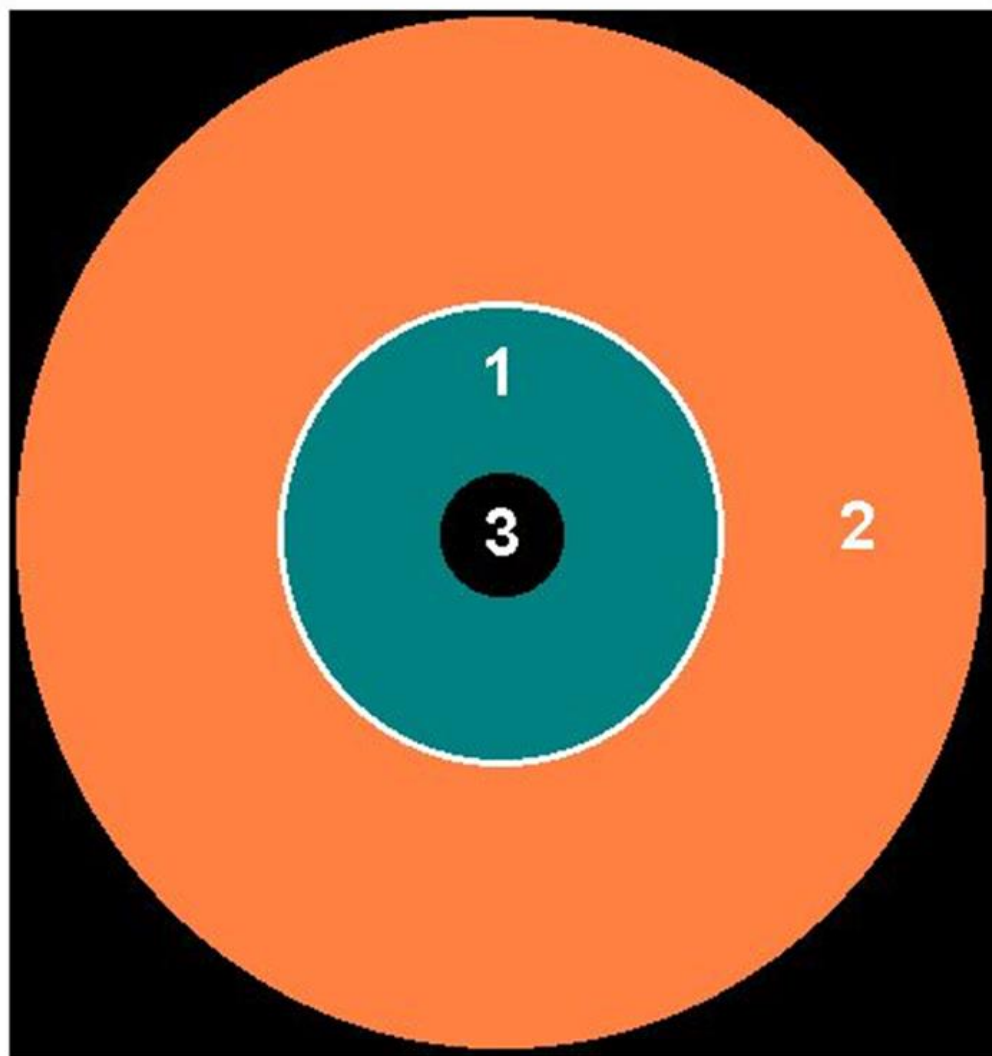
Es la parte del **volumen cartesiano** que queda **por debajo del PPI**. Al no existir datos, los **CAPPI,s** se completan con datos de las exploraciones más bajas (sobre todo del PPI).

## ZONA 3

**Región sin datos** situada dentro del cono de sombra superior del volumen polar. En los **CAPPI,s** aparecen en el centro de la imagen como **círculos negros**.



## ZONAS EN UNA IMAGEN CAPPI



### ZONA 1

Corresponde al CAPPI verdadero y **proporciona información** que se encuentra **a la misma altura**.

### ZONA 2

La información que muestra **no se encuentra a la misma altura**. Proviene de niveles superiores, más altos cuánto más lejos esté del radar.

### ZONA 3

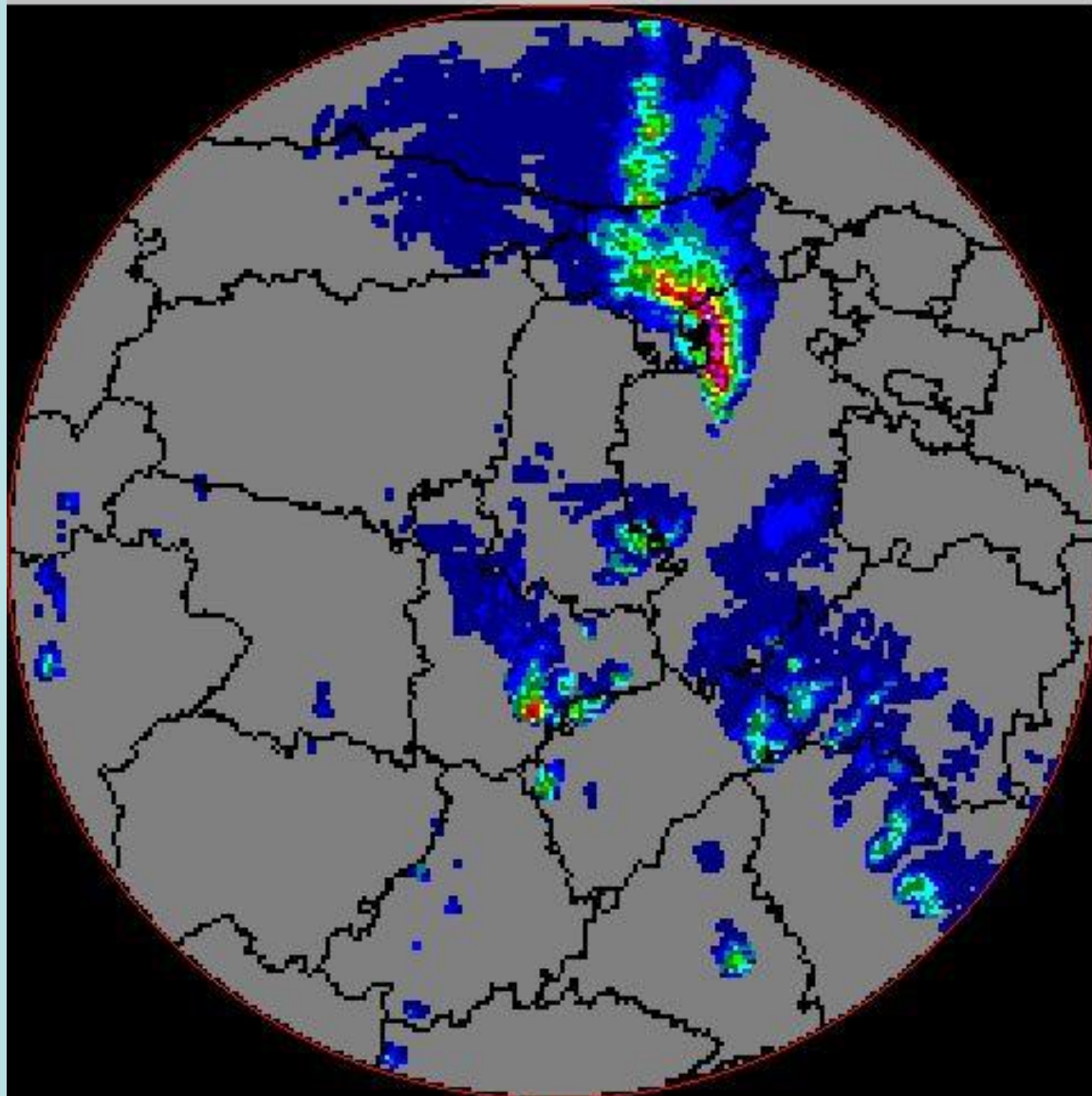
**No hay datos**. Es el cono de sombra superior.

Los **PPIs** no tienen una altura constante.

La altura de los **CAPPI** es la misma para todos los radares:

- 1° CAPPI: 500 m sobre nivel del mar.
- El resto hasta el CAPPI 31 (16000 m) en intervalos regulares de 500 m.

## CAPPI 6 1-JUNIO-1999 15:30 UTC



En esta imagen correspondiente a una situación de tormentas vemos como a 7,5 Km existen ecos superiores a 50 dBz.

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

16

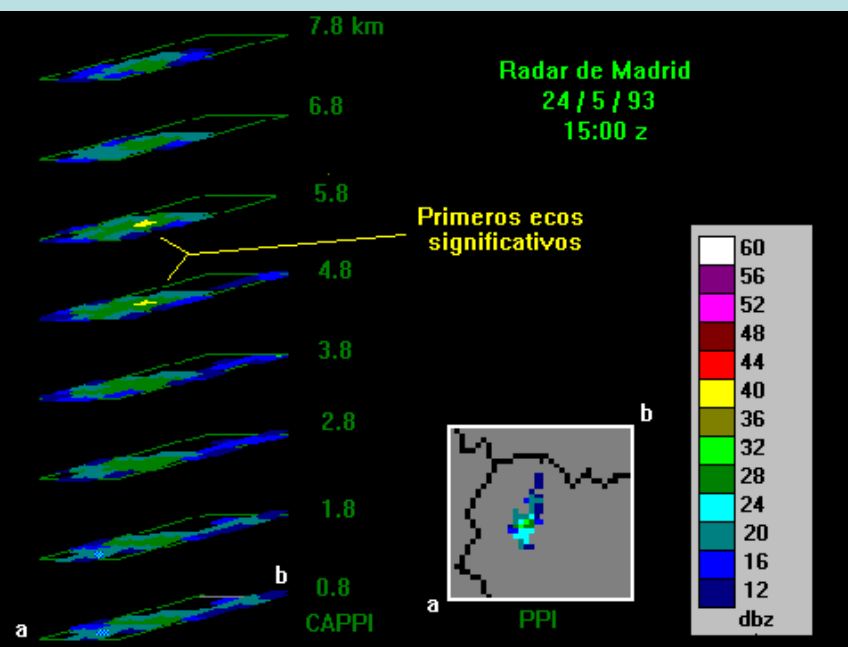
12

La existencia de gran cantidad de partículas precipitables en dicha altura indica la presencia de fuertes e intensas corrientes ascendentes.

Las zonas alargadas de precipitación estratiforme nos indican la dirección de los vientos en dicho nivel.

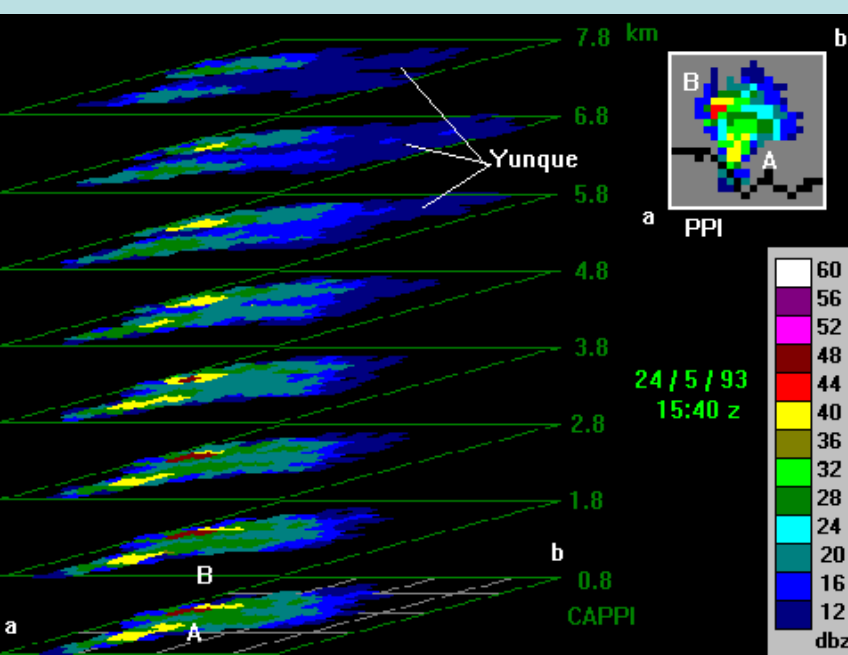
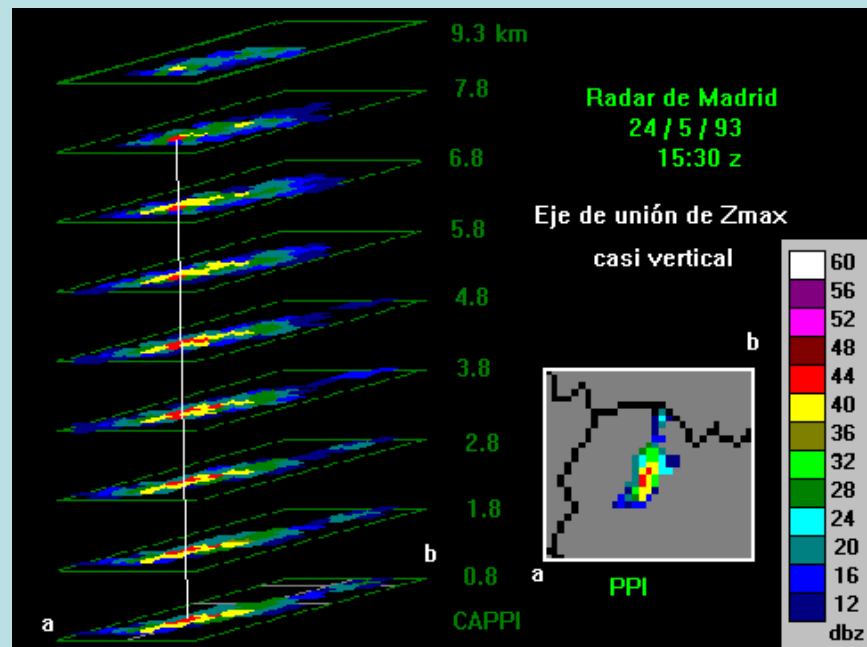
CAPPI 7,5 Km

# VISIÓN CONJUNTA DE CAPPIS



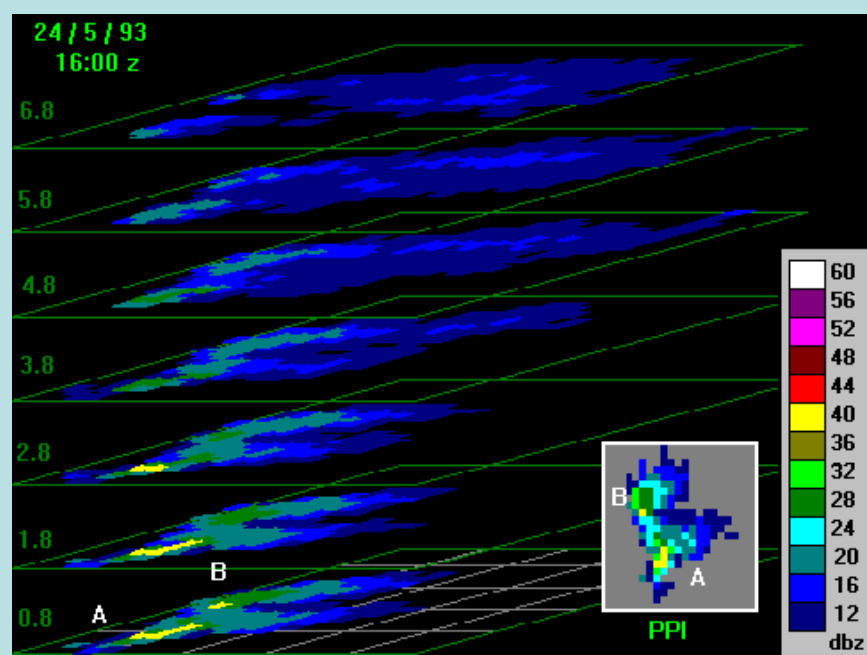
1

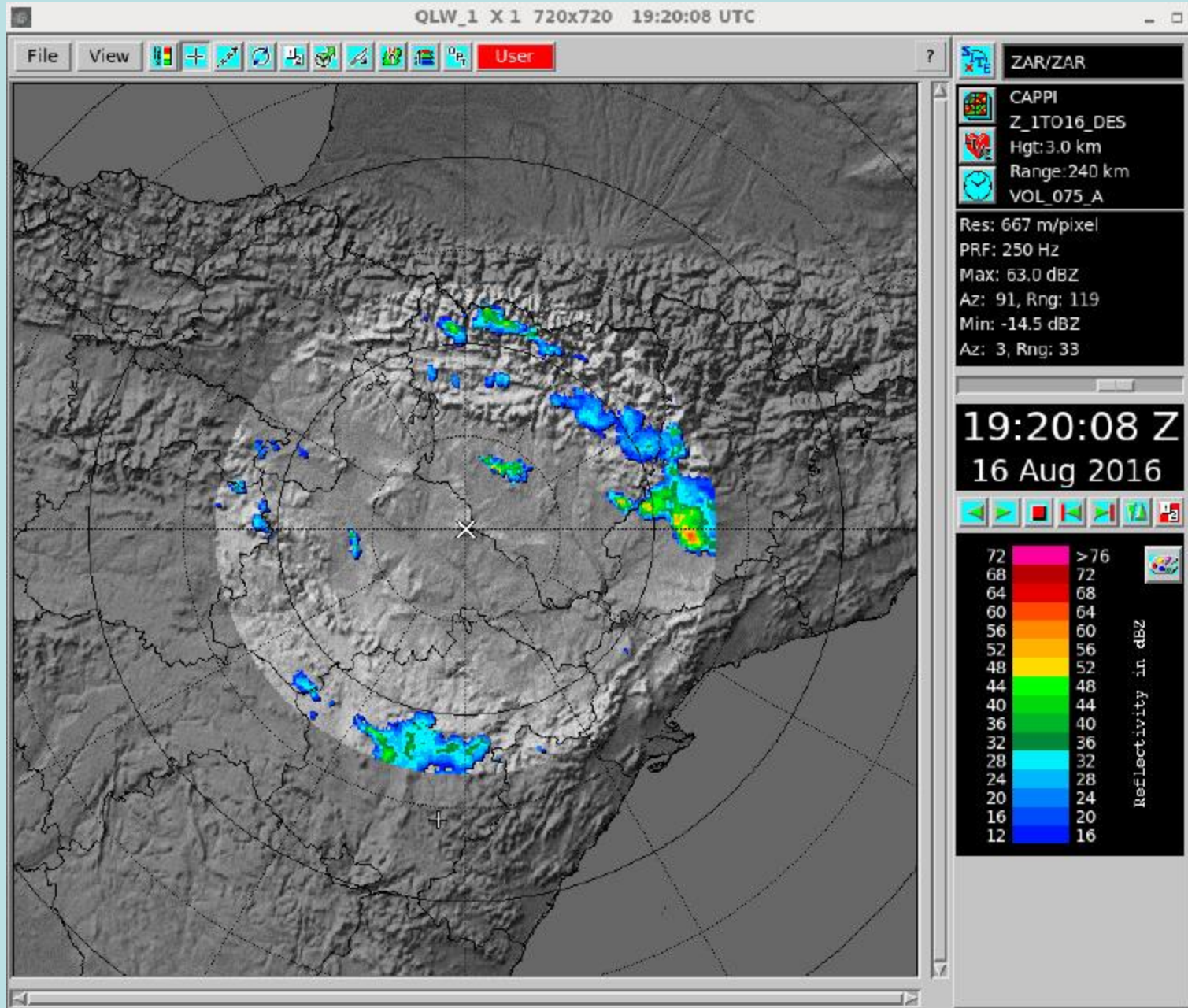
2



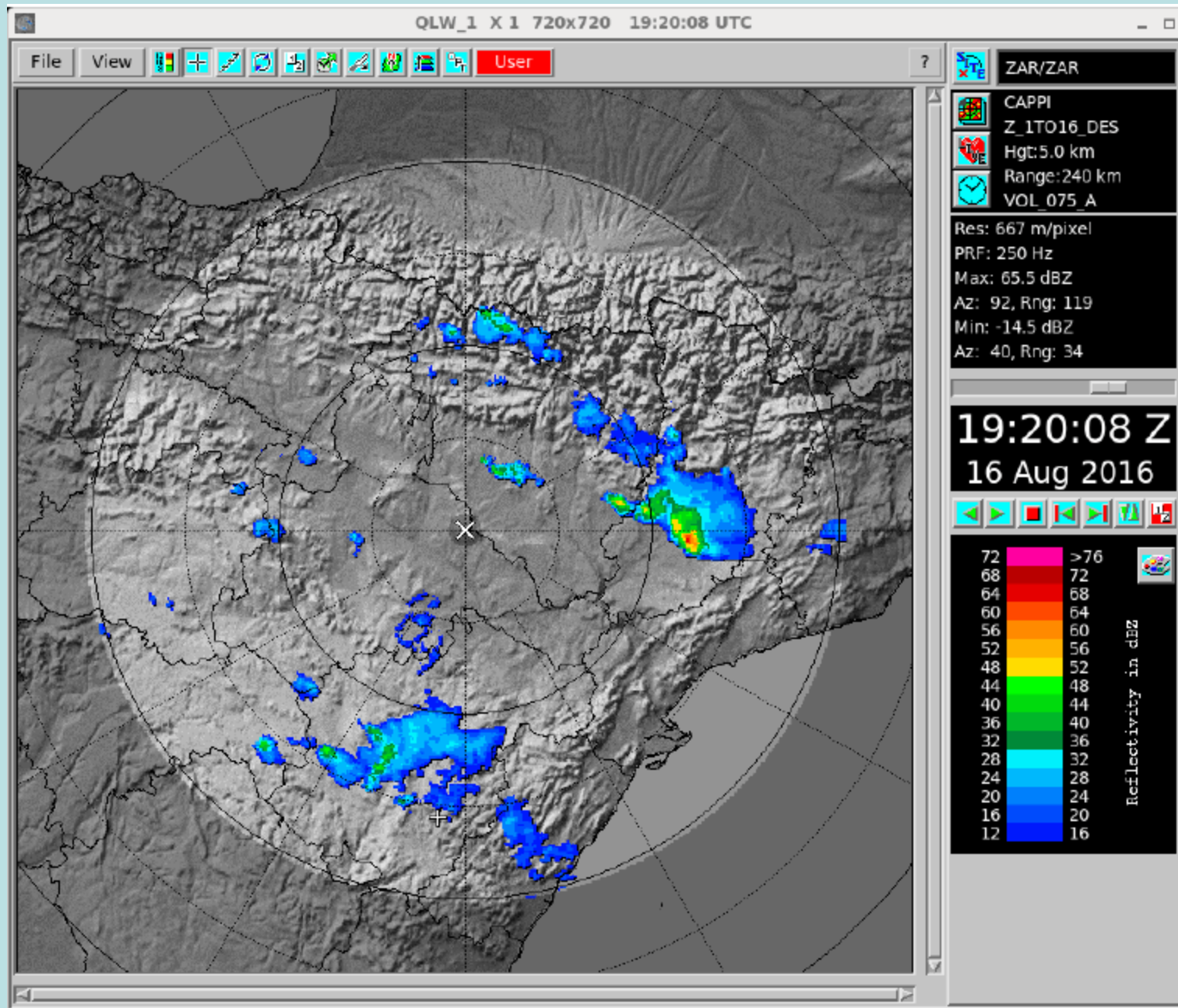
3

4

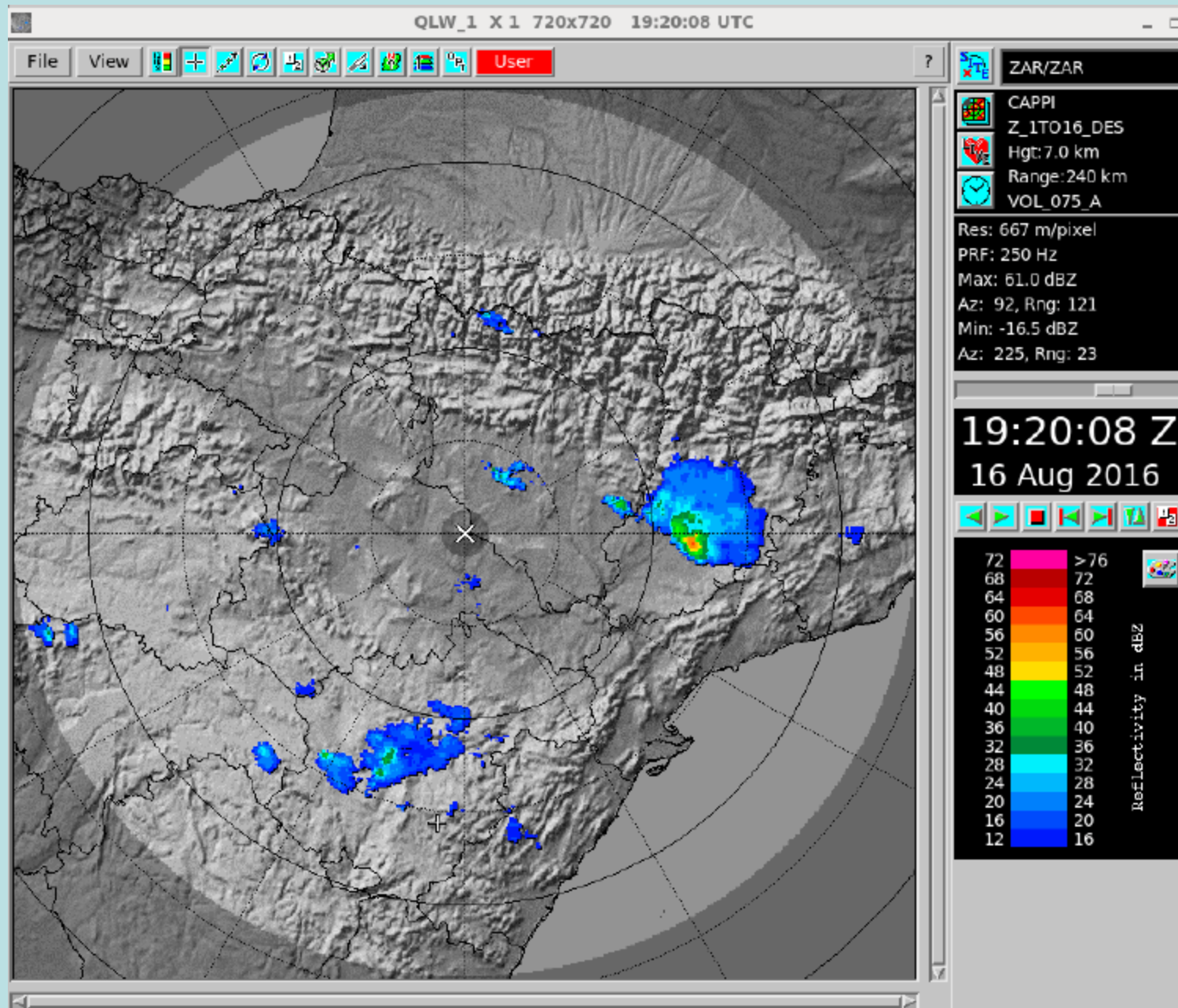




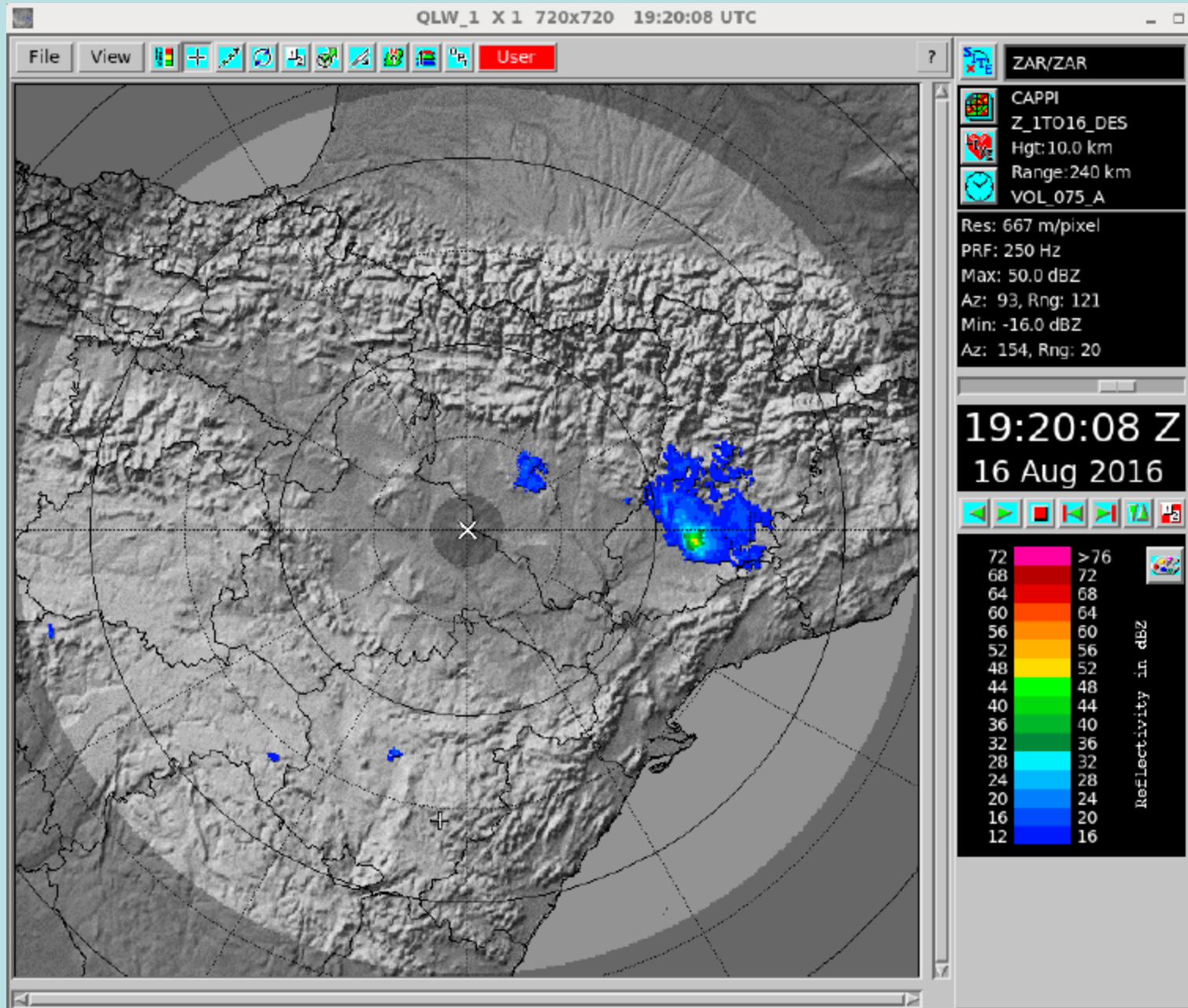
CAPPI 3 Km



**CAPPI 5 Km**



CAPPI 7 Km

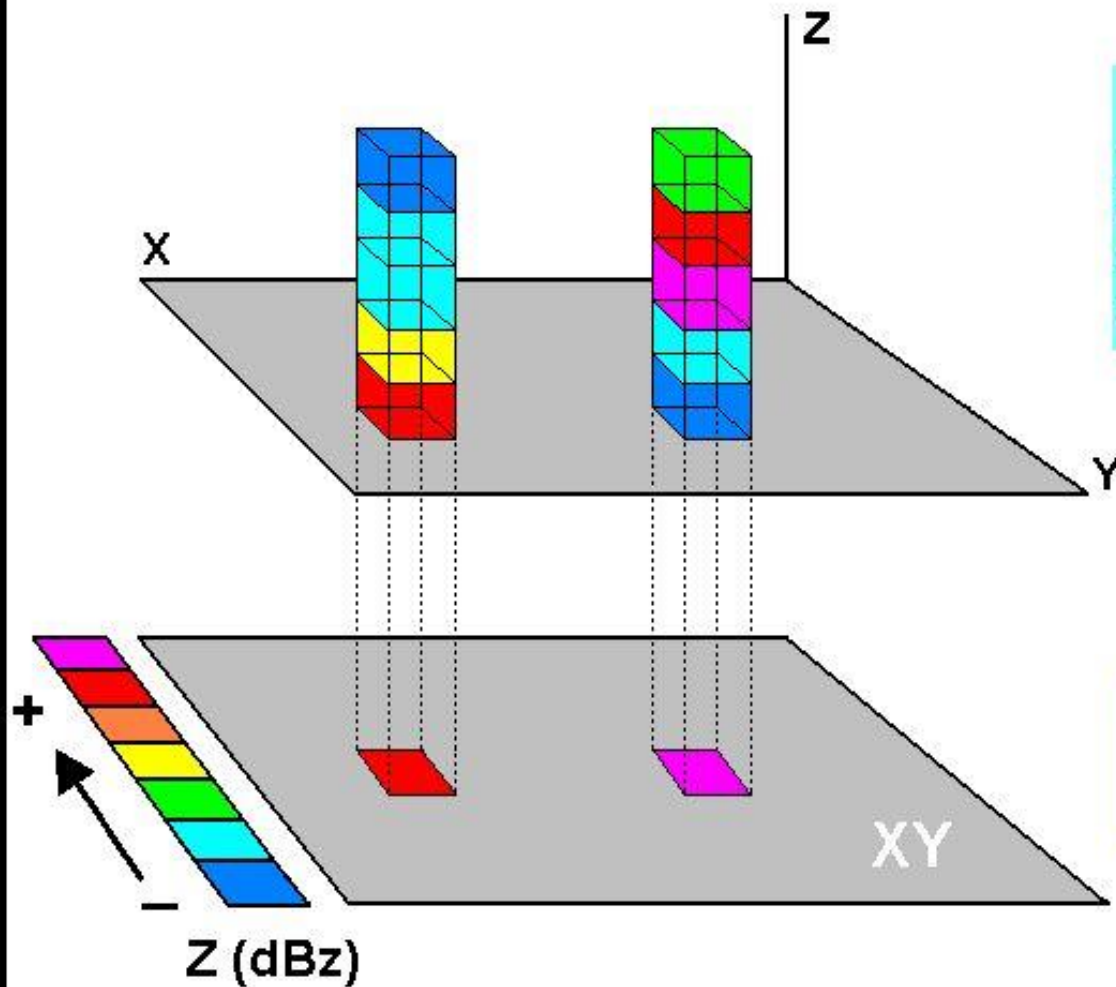


**CAPPI 10 Km**



# ZMAX

## Zmáx Reflectividad máxima horizontal



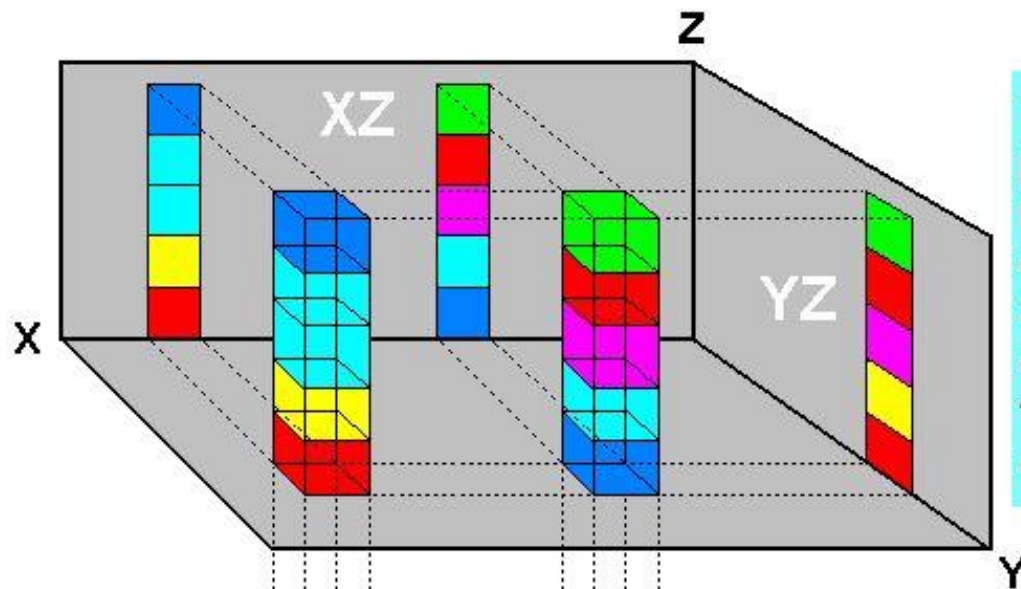
Producto resultante de proyectar en cada punto del plano XY el máximo valor de reflectividad Z situado sobre él.

Importante: Los datos del plano XY no corresponden al mismo nivel.

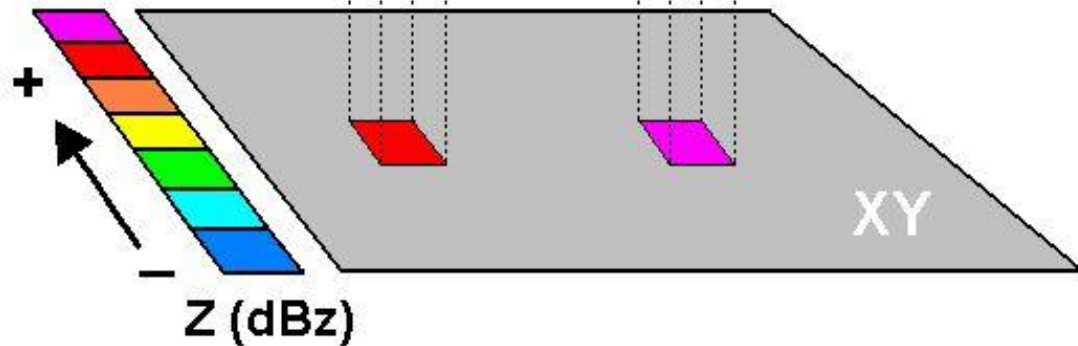
# ZMAX VERTICAL

Zmáx Vertical

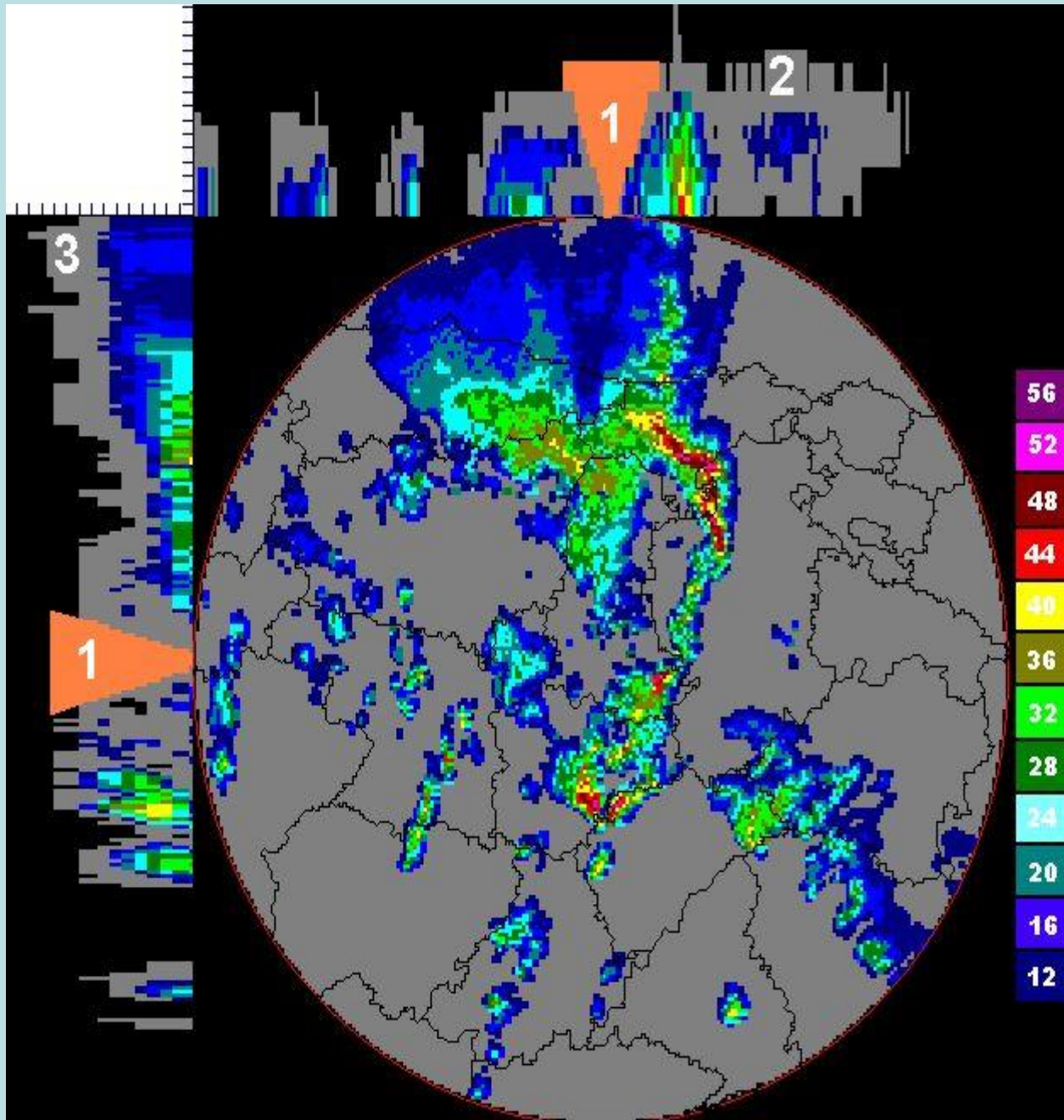
Cortes verticales



Proyección sobre el plano XZ de los máximos de reflectividad en la dirección Norte-Sur y sobre el plano YZ de los máximos de reflectividad en la dirección Oeste-Este.



Importante: Las proyecciones de distintos ecos pueden solaparse e inducir confusión.



## CORTE VERTICAL

1-JUNIO-1999 15:30 UTC

Debe combinarse con una imagen horizontal para visualizarla.

En esta imagen destacamos:

56

52

48

44

40

36

32

28

24

20

16

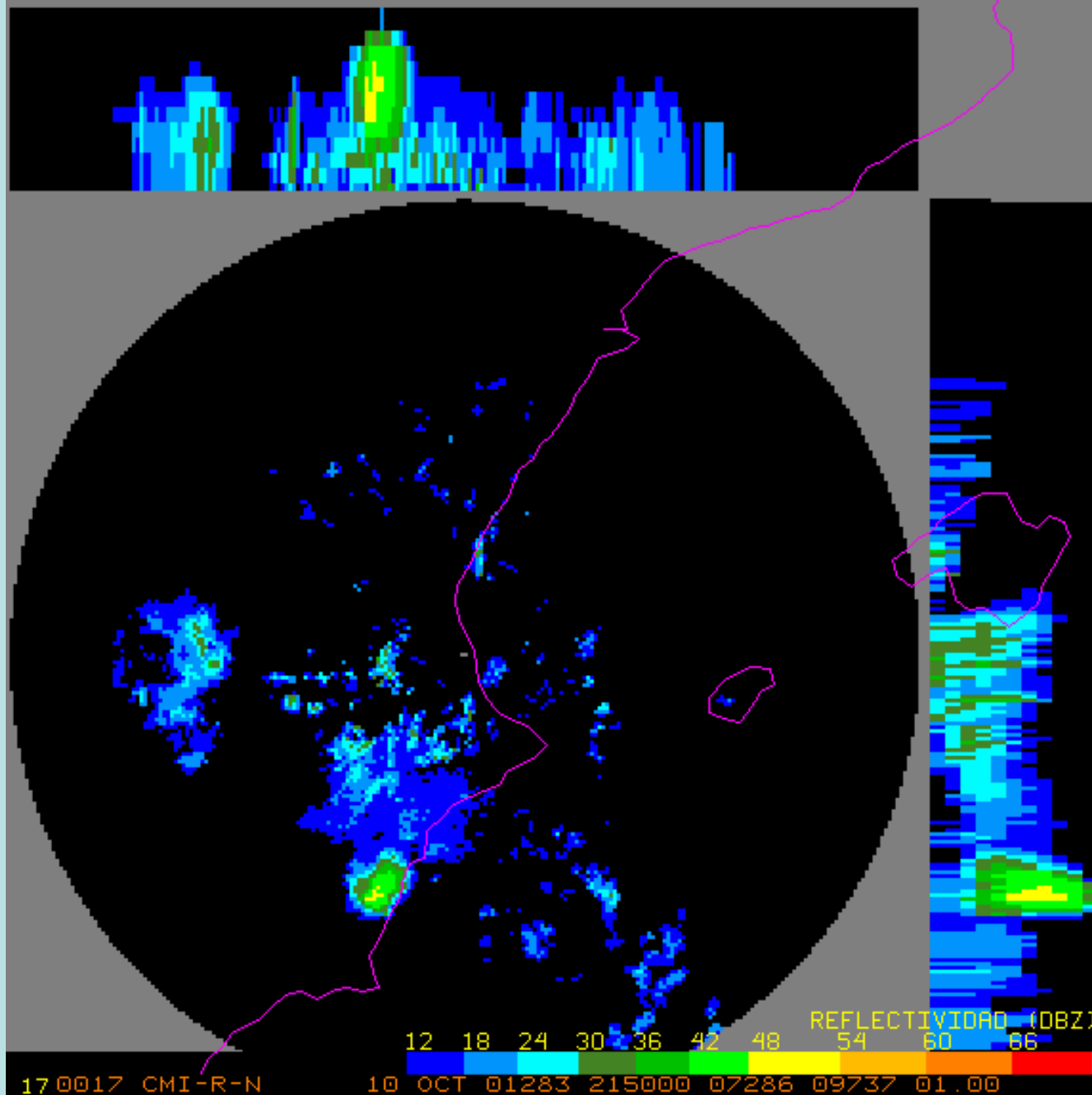
12

1. El perfil vertical del cono de sombra.

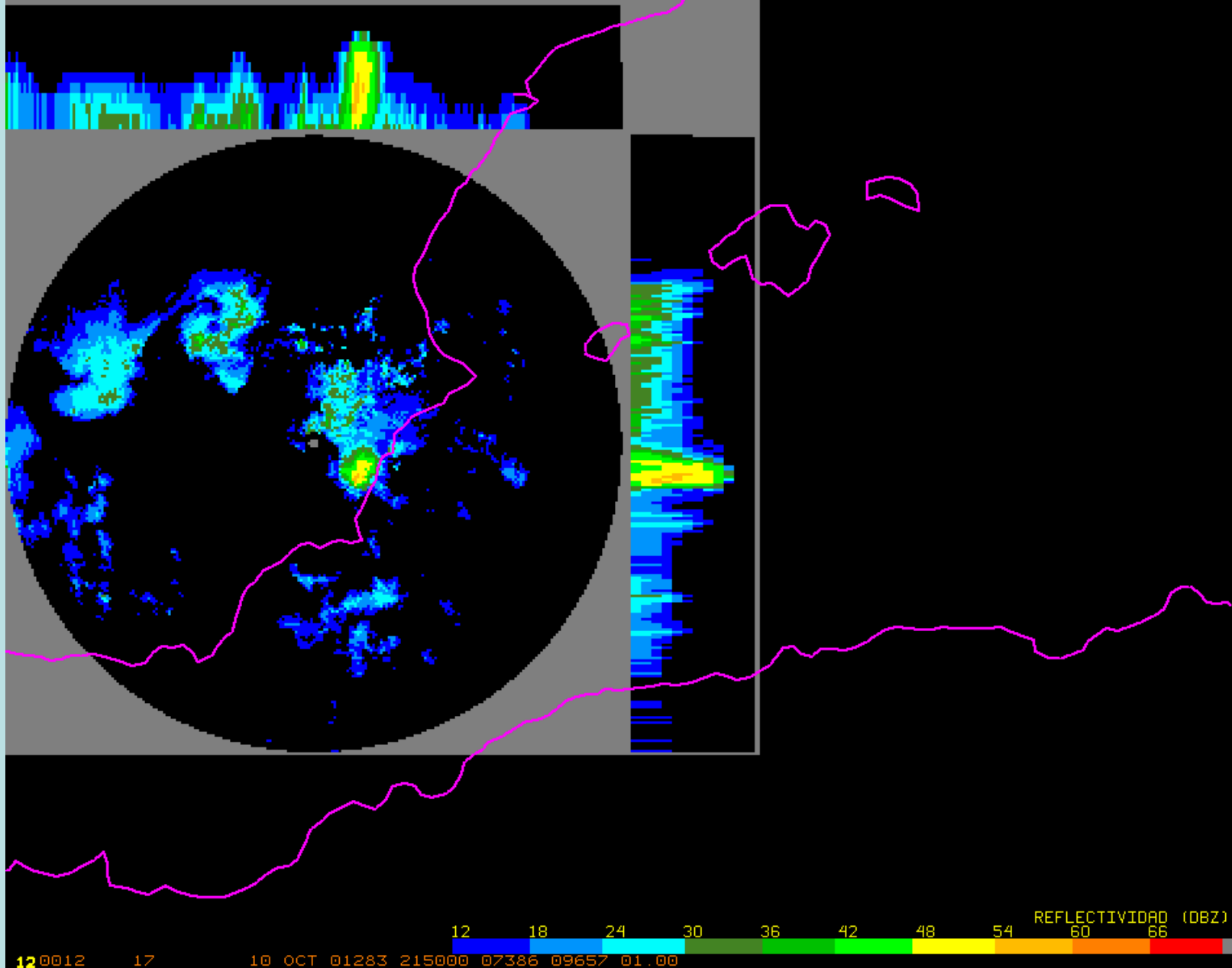
2. Zonas de precipitación en niveles altos que no llega al suelo.

3. En el límite, los ecos observados por el PPI se extrapolan hacia el suelo. De ahí el color uniforme en la reflectividad vertical.

Los ecos aislados del tipo 2 en las mañanas de verano nos indican donde se inicia la convección.



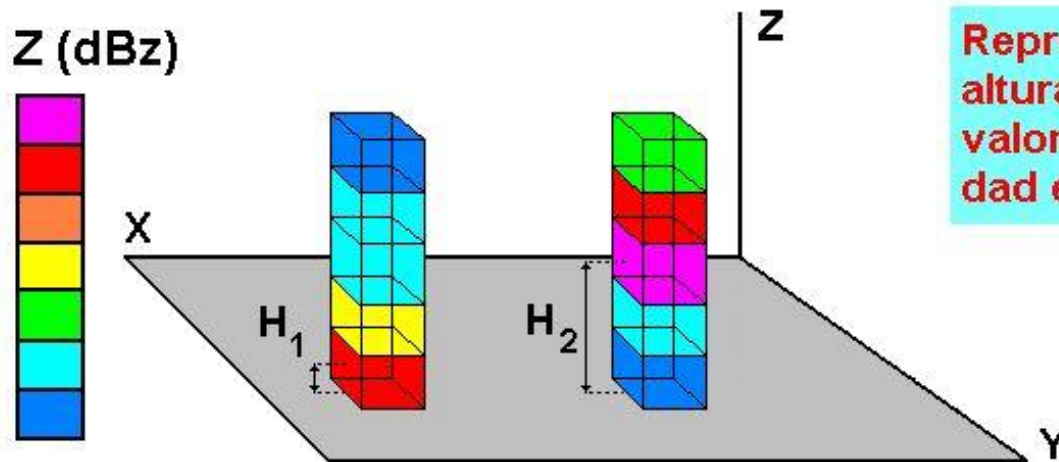
ZMAX del radar de Valencia (Supercélula)



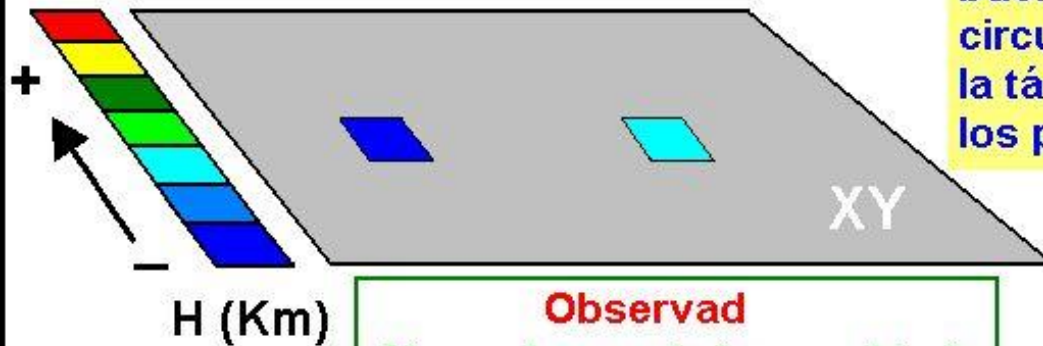
ZMAX del radar de Murcia. (Supercélula)

# HMAX

## Hmáx    Altura del máximo de reflectividad

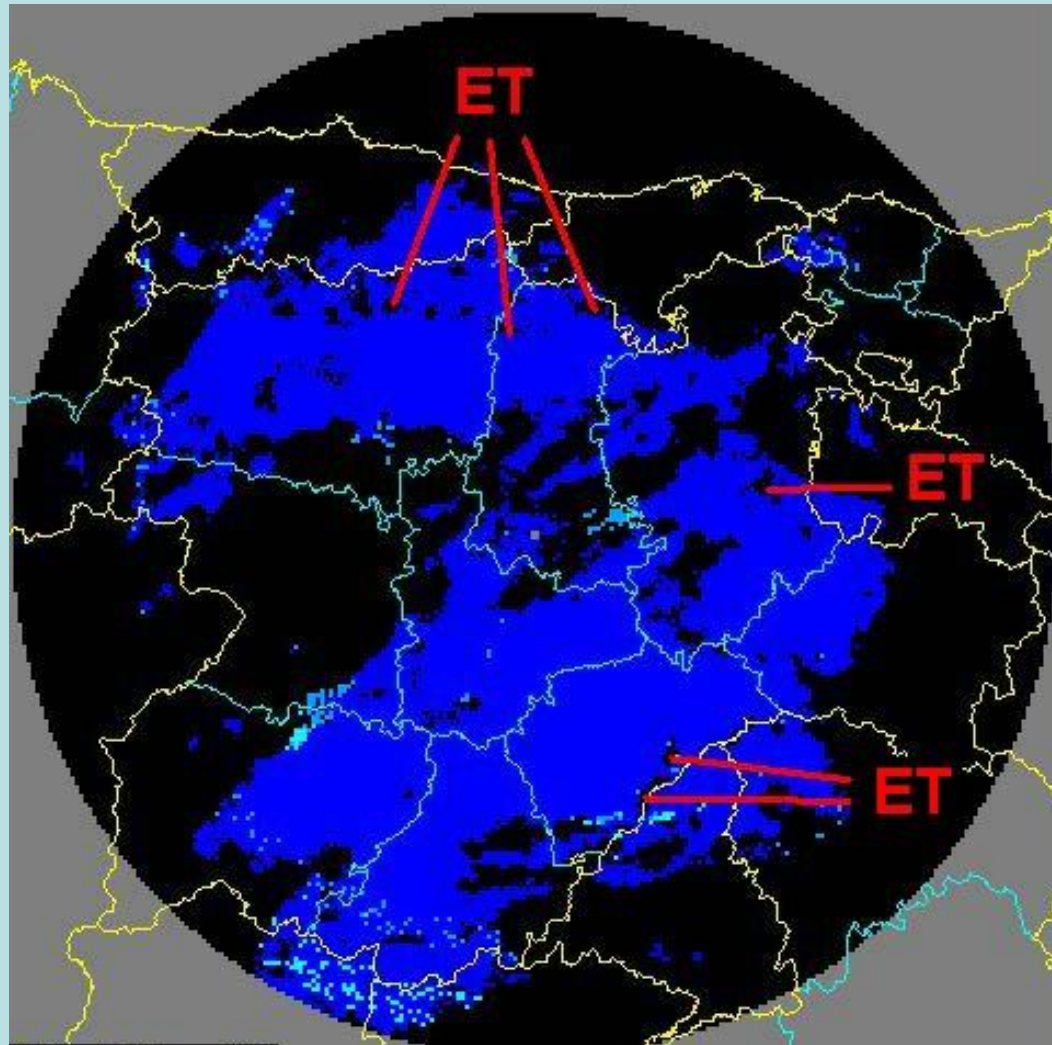


Representación plana de la altura a la cual se alcanza el valor máximo de reflectividad en cada punto (x,y).



A veces presenta una distribución de valores en coronas circulares uniformes debido a la táctica de exploración y a los procesos de interpolación.

**Observad**  
Ahora, la escala ha cambiado y el código de colores representa alturas



## Hmáx ALTURA MÁXIMO DE REFLECTIVIDAD

Estas precipitaciones corresponden a una situación frontal:

- los valores de Hmáx son muy uniformes.
- nos indica que las precipitaciones máximas suceden cerca del suelo.

Las zonas oscuras señaladas con **ET** son **pixels** que han sido **eliminados** por ser **ecos de tierra** (en los puntos señalados en la imagen **llegaban hasta 5,5 Km de altura**).

**En el caso de tormentas** cuanto **más altos** sean los valores **más intensas** serán las **corrientes ascendentes**.

HMAX. REFL. (KM)

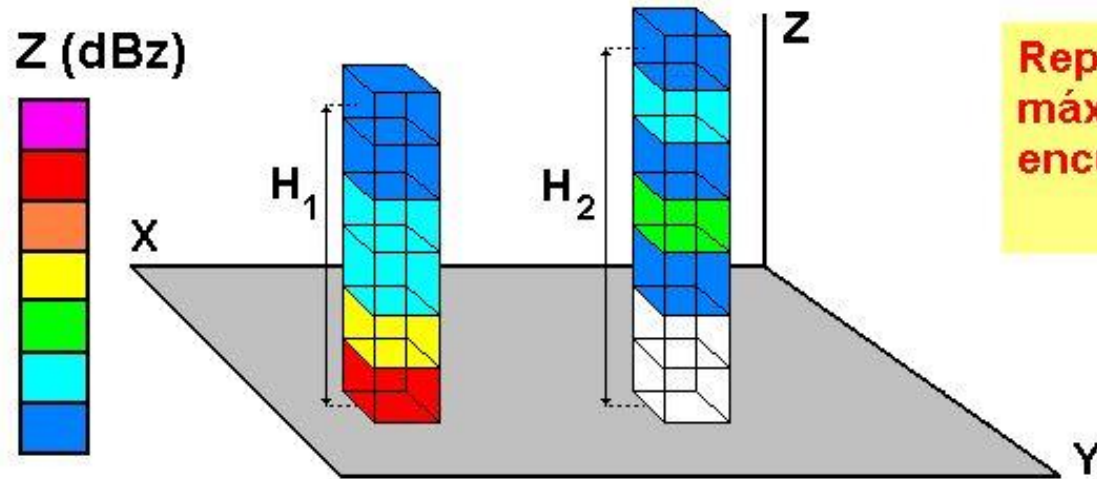
1.2 2.5 3.5 4.5 5.5 6.5 7.5 8.5 10 12 14 16

0040 VMR-H-N

22 NOV 00327 150000 07066 09381 01.00

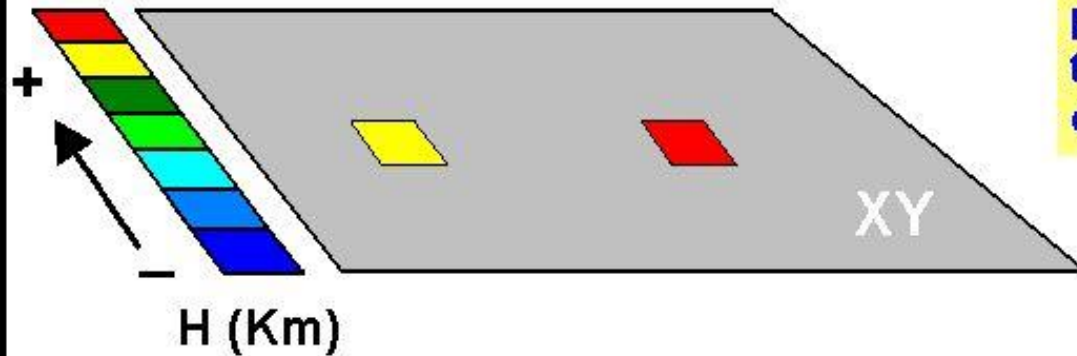
# ECHOTOP

Echotops Máxima altura de una Z de referencia



Representación plana de la máxima altura a la que se encuentran los ecos de:

12 dBz

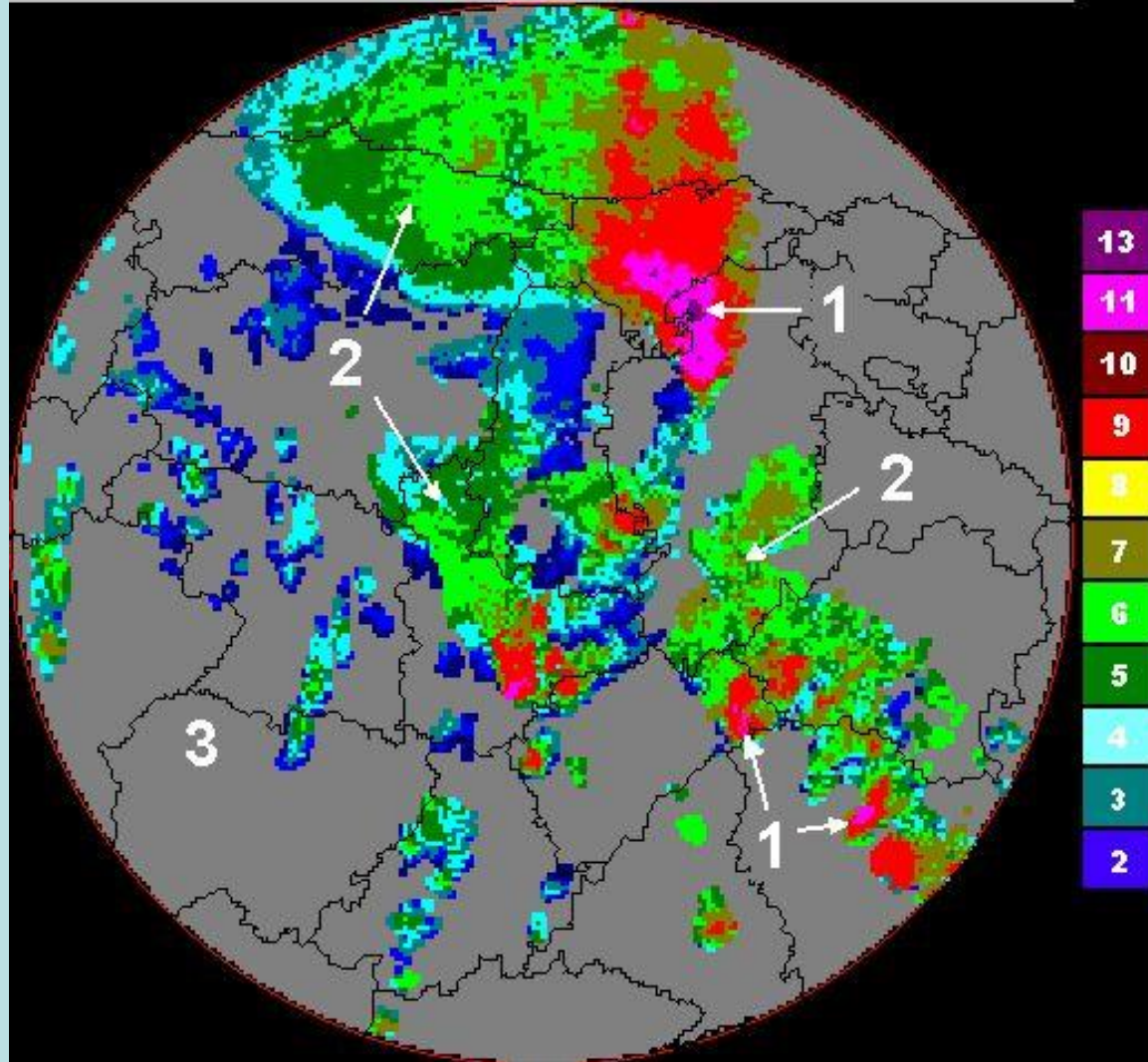


Cómo en el caso  $H_{\text{máx}}$  pueden aparecer estructuras concéntricas al radar no meteorológicas.



# ECHOTOP

1-JUNIO-1999 15:30 UTC

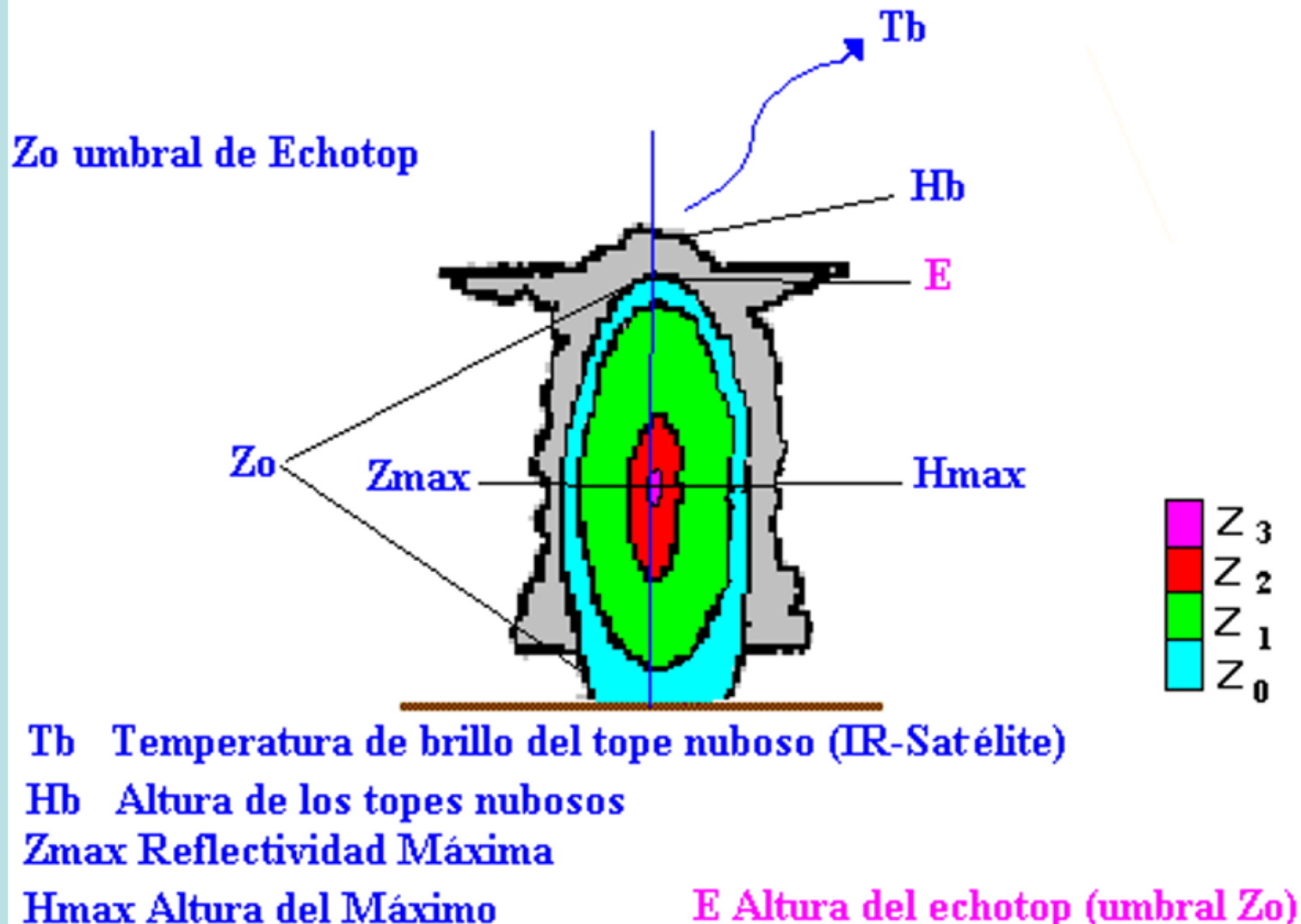


En esta imagen destacamos:

- 1. Los echotops más altos.**  
Son de pequeña extensión.  
Nos señalan:
  - Las **corrientes ascendentes más intensas.**
  - Las **zonas de precipitación convectiva.**
  - La **dirección del viento en los niveles altos.**
- 2. Los echotops medios.** Son extensos y uniformes.  
Nos señalan:
  - Las **zonas de precipitación estratiforme.**
  - La **dirección del viento en niveles medios.**
- 3. Los echotops bajos.** Aislados y de poca extensión.  
Están asociados a los **chubascos de la advección fría.**



## DIFERENCIAS ENTRE DISTINTOS PARAMETROS



## c) Acumulación de la precipitación.

### Acumulación de la precipitación

El módulo de acumulación calcula la precipitación acumulada en períodos de 10 minutos. **Utiliza el CAPPI más bajo no afectado por ecos de tierra** (generalmente el **CAPPI 0**) y la **relación de Marshall-Palmer**. De esta forma se generan automáticamente las precipitaciones para los siguientes períodos:

- ✓ Precipitaciones diarias correspondientes al día civil (0 - 24) y al día pluviométrico (7 - 7).
- ✓ Precipitaciones sinópticas de 0 - 6, de 6 - 12, de 12 - 18 y de 18 - 24.
- ✓ Precipitaciones horarias.

- Se transforma la reflectividad correspondiente a cada exploración, cada 10 min., en cantidad de precipitación (relación Z/R).
- Sumando las exploraciones correspondientes se obtiene la acumulación horaria.
- A partir de la horarias se obtiene la acumulación hexahoraria, y de las hexahorarias las diarias (día oficial y día pluviométrico).

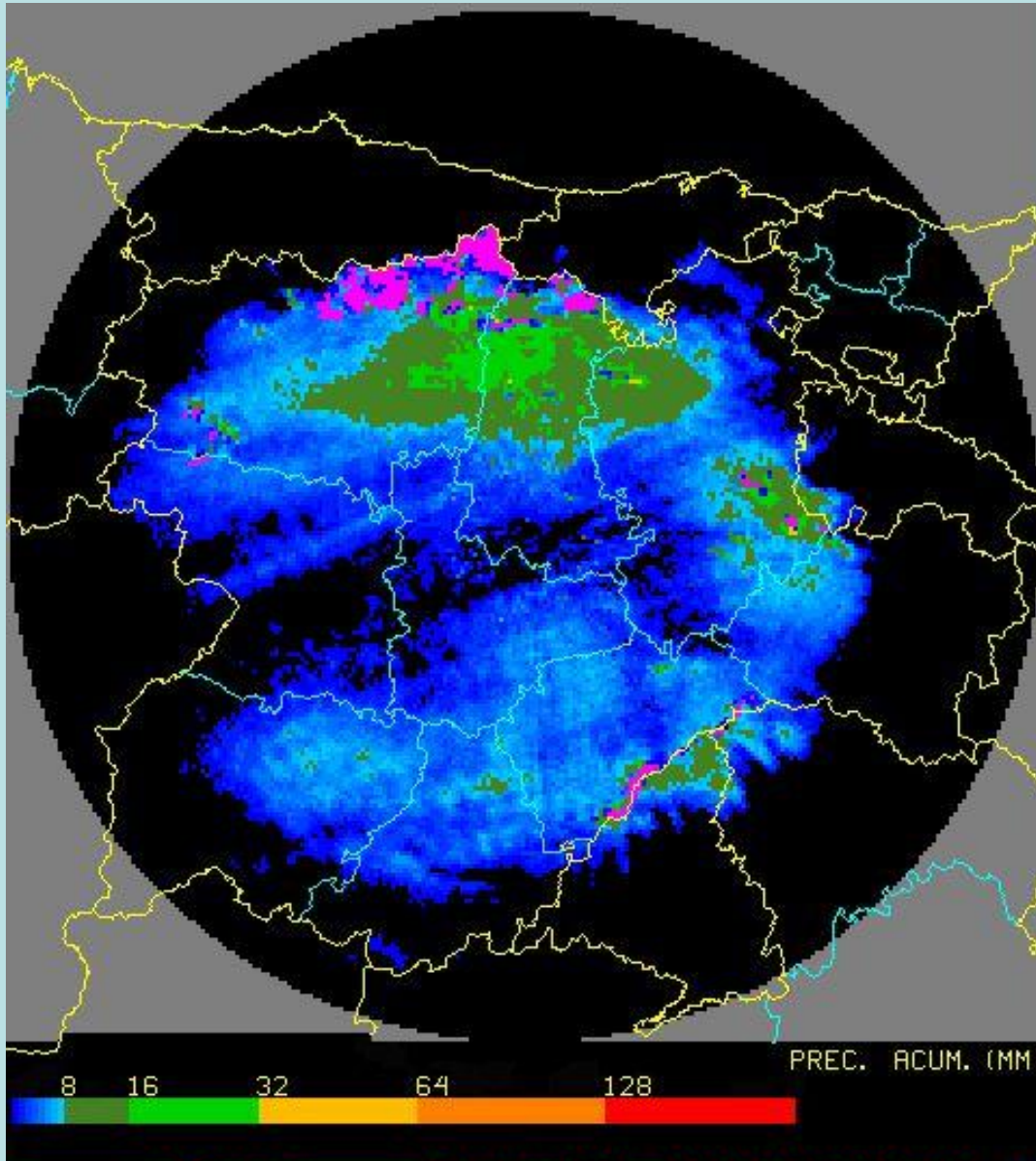
**RADAR DE VALLADOLID**  
**ACUMULADA 00 - 24 UTC**  
**22 - 11 - 2000**

Las zonas coloreadas en color rosa nos muestran pixels que:

- están **eliminados** por ser ecos de tierra.
- se encuentran **apantallados** por las montañas y las precipitaciones de niveles más altos son tan débiles que no dan señal para la acumulación.

**Observad:**

- 1.- Zonas alejadas de Ávila, León, Salamanca y Soria sin precipitación por la elevación y bloqueo del haz.
- 2.- Con advecciones cálidas y húmedas del suroeste la intensificación orográfica en la Cordillera Cantábrica e Ibérica.



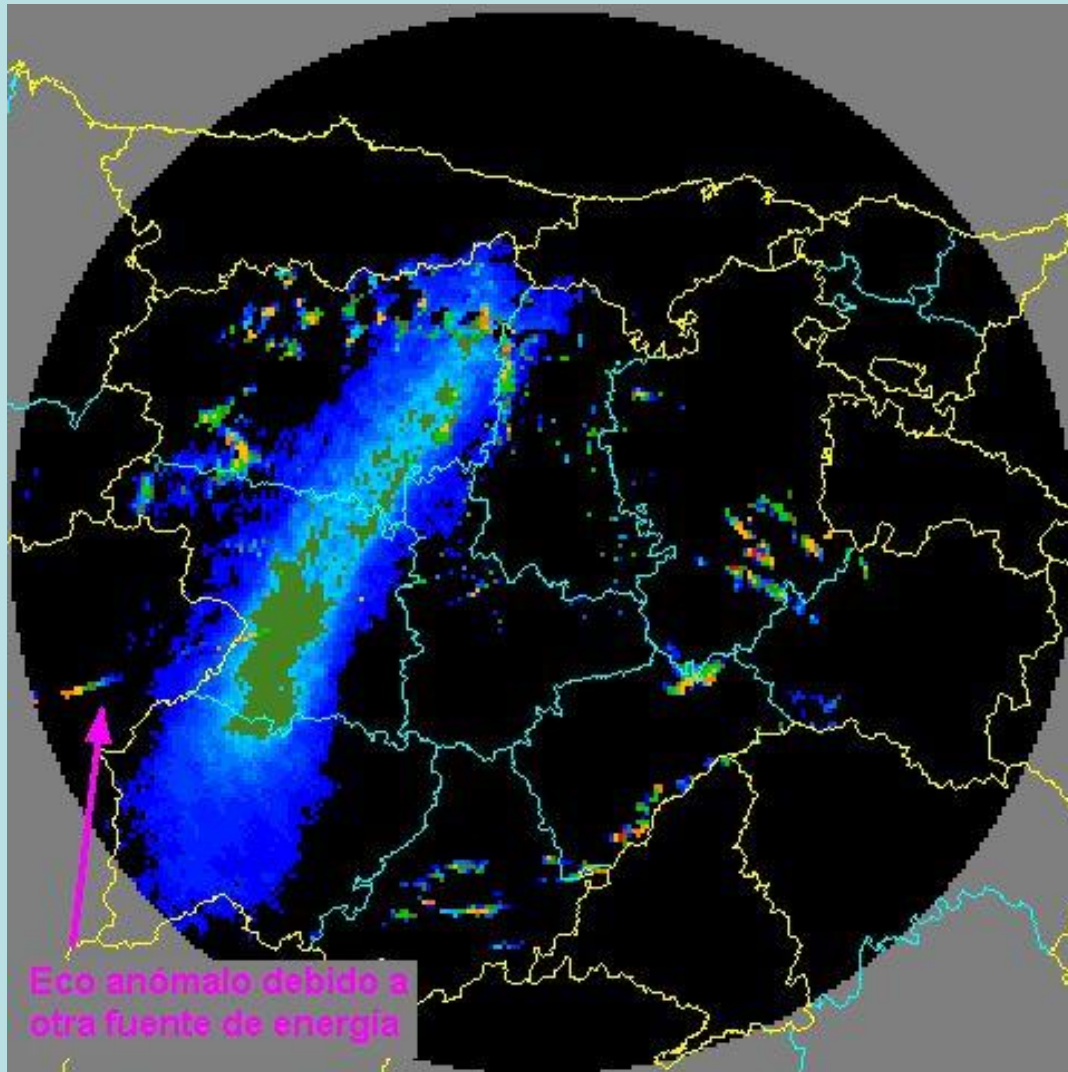
A24-A-N 23 NOV 00328 000000 07066 09381 01 00

Ecoss fijos de tierra

# RADAR DE VALLADOLID

ACUMULADA 00 - 24 UTC

28 - 11 - 2000



Eco anómalo debido a otra fuente de energía

PREC. ACUM. (MM)

8 16 32 64 128

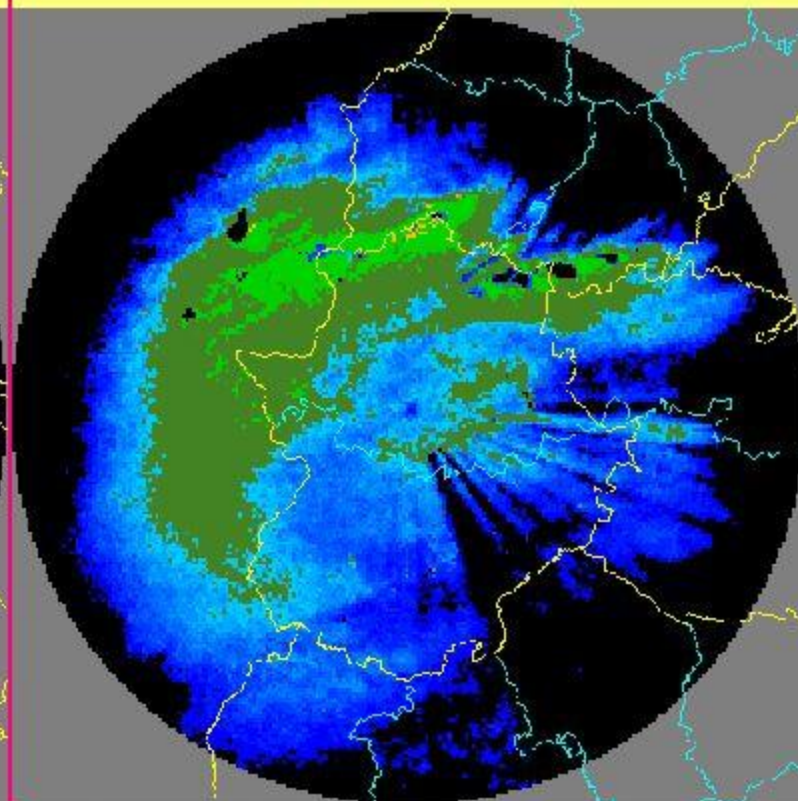
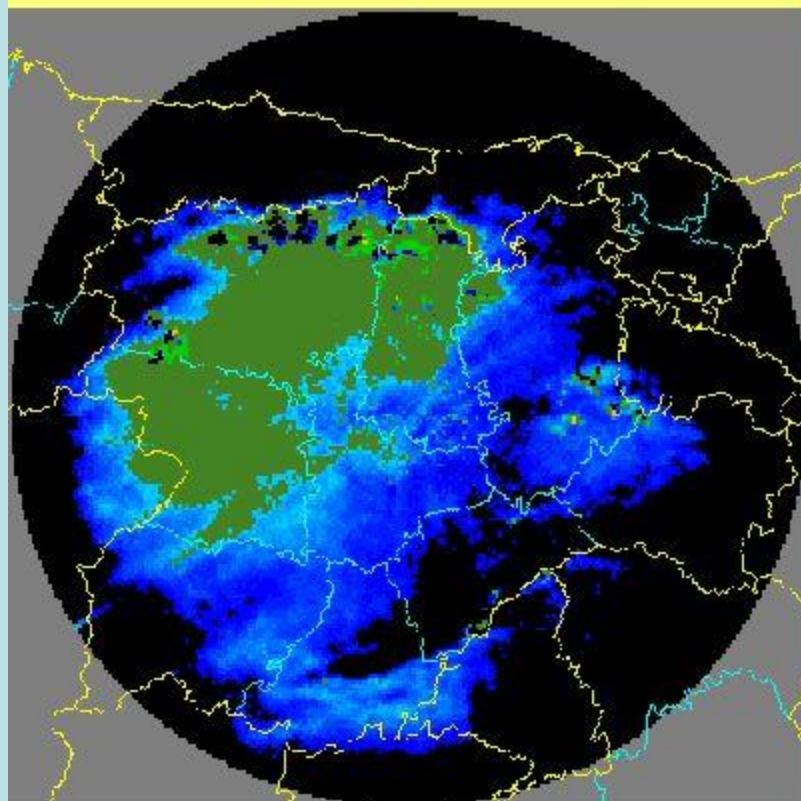
0035 A24-A-N 29 NOV 00334 000000 07066 09381 01 00

La madrugada del día 28 reunió las condiciones apropiadas para la propagación anómala del haz (en León hubo nieblas por la mañana). Los ecos de tierra se fueron acumulando en este período y se añadieron a los ecos de precipitación de una banda que entró por el oeste durante la noche.

Propagación anómala (inversión → ecos falsos)

**RADAR VALLADOLID**  
Acumulada (07 - 07) 6 - 12 - 2000

**RADAR CACERES**  
Acumulada (07 - 07) 6 - 12 - 2000



PREC. ACUM. (MM)



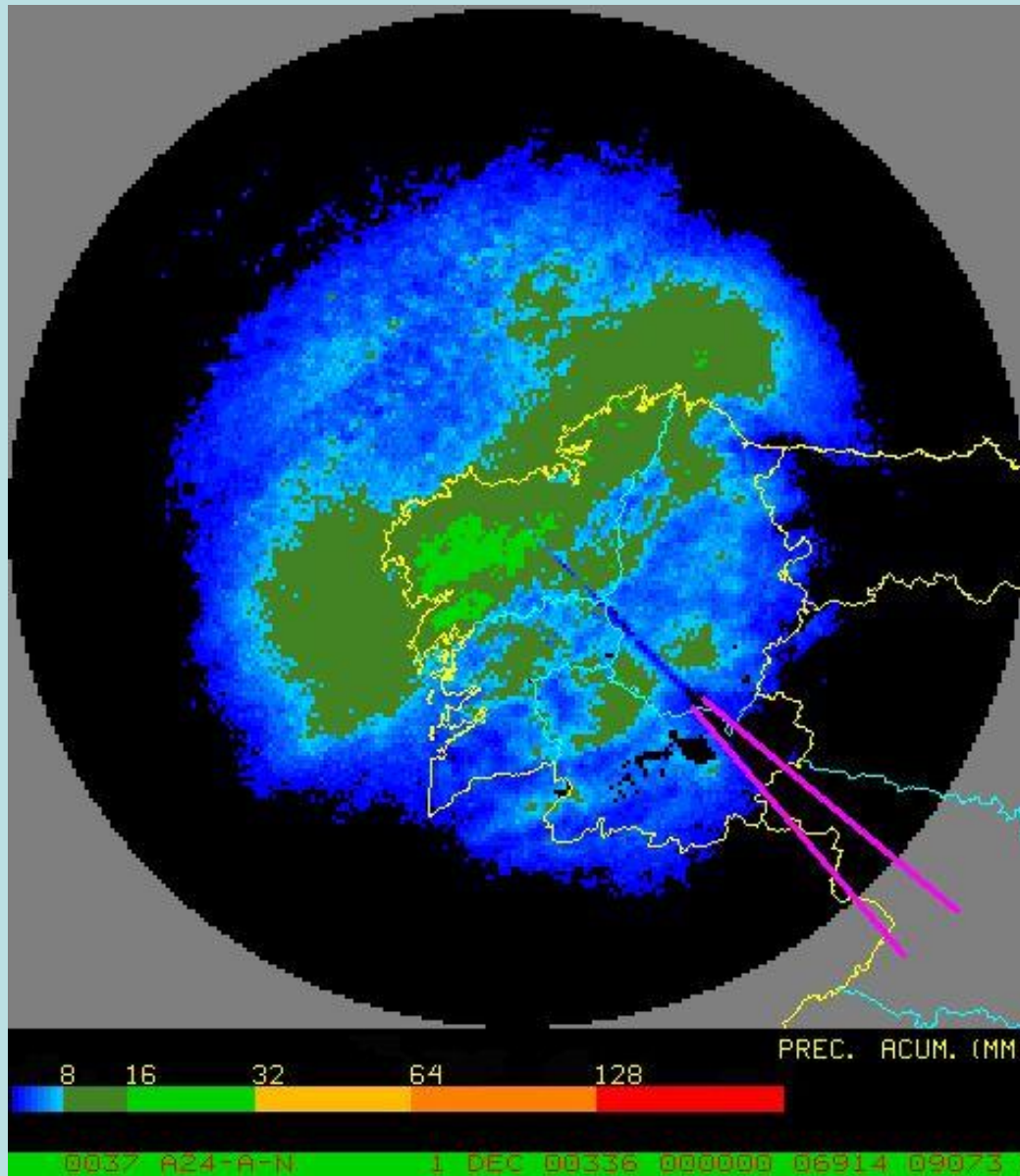
**PRECIPITACIONES DE LAS AUTOMÁTICAS**

Almázcara: 7,5	Autilla del Pino: 13,0
Virgen del Camino: 30,0	Villafria: 8,6
Benavente: 44,8	Belorado: 1,6
P. San Isidro: 37,0	Vinuesa: 18,3
Cervera de Pisuerga: 52,3	Villardecervos: 43,6
Carrión de los Condes: 19,8	Vitigudino: 9,3

Valladolid: 7,5	Ávila: 7,1
Olmedo: 3,1	Segovia: 0,2
La Pinilla: 15,6	Zamora: 9,4
Aranda de Duero: 4,2	Medina de Pomar: 2,7
Soria: 9,0	Lagunas de Som.: 53,4
Saelices el Chico: 20,0	
Salamanca: 2,7	
Piedrahita: 18,2	

Limitación en zonas alejadas





## RADAR DE LA CORUÑA

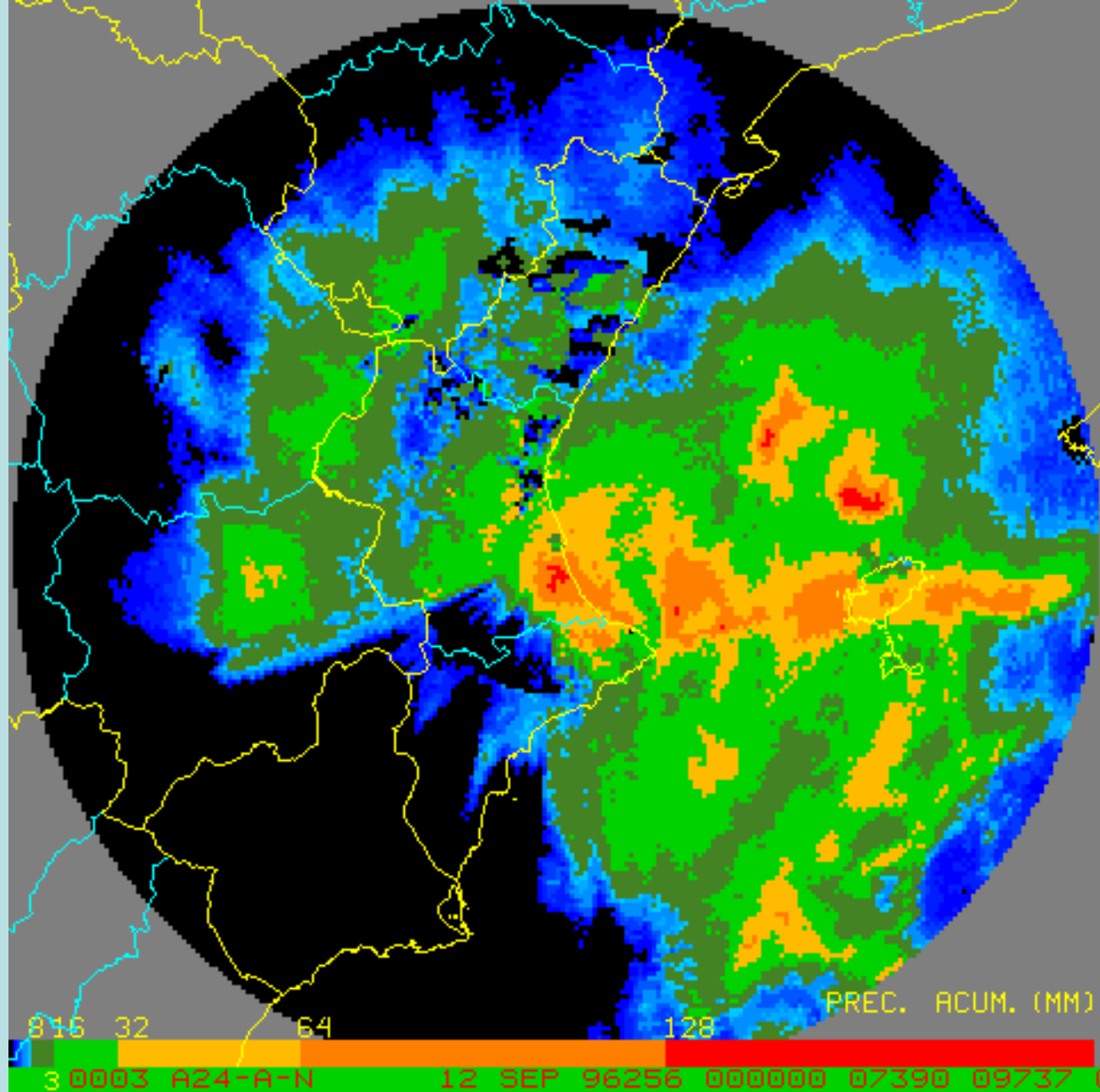
ACUMULADA 00 - 24 UTC

30 - 11 - 2000

**Ejemplo de bloqueo del haz por un obstáculo colocado en la proximidad del radar.**

En este caso se comprueba con más claridad que, aparte de la intensificación de la precipitación en la costa, como las mayores precipitaciones se encuentran cerca del radar y van disminuyendo gradualmente a medida que nos alejamos del radar debido a la elevación del haz.

Bloqueo del haz por objetos cercanos al radar



Acumulación de precipitación (24 horas)

## VIL

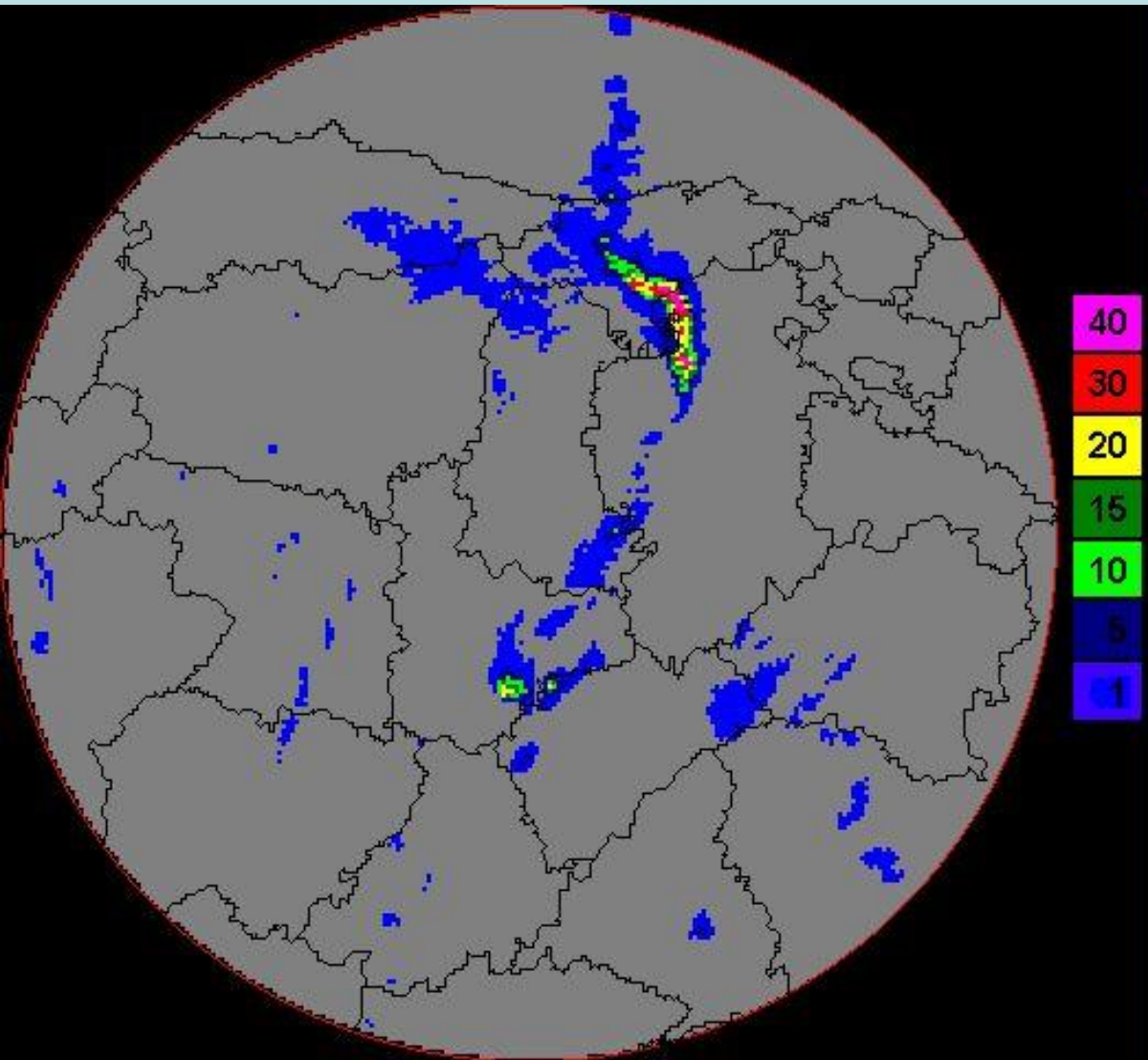
El VIL representa el contenido de agua líquida integrado verticalmente. Para cada nivel se estima el contenido de agua líquida a partir de la reflectividad  $Z$  y basándose en estudios teóricos sobre distribuciones por tamaño de las gotas de agua y estudios empíricos de reflectividad y contenido de agua líquida.

Para obtener el VIL se suma en la vertical el contenido de agua líquida de todos los niveles

## VIL = VERTICALLY INTEGRATED LIQUID.

Se interpreta como una medida del contenido potencial de agua líquida por m<sup>2</sup> en la vertical de cada pixel. Se expresa en Kg/m<sup>2</sup>

$$VIL = \int 3,44 * 10^{-6} [(Z_i + Z_{i+1})/2]^{\frac{4}{7}} dH$$



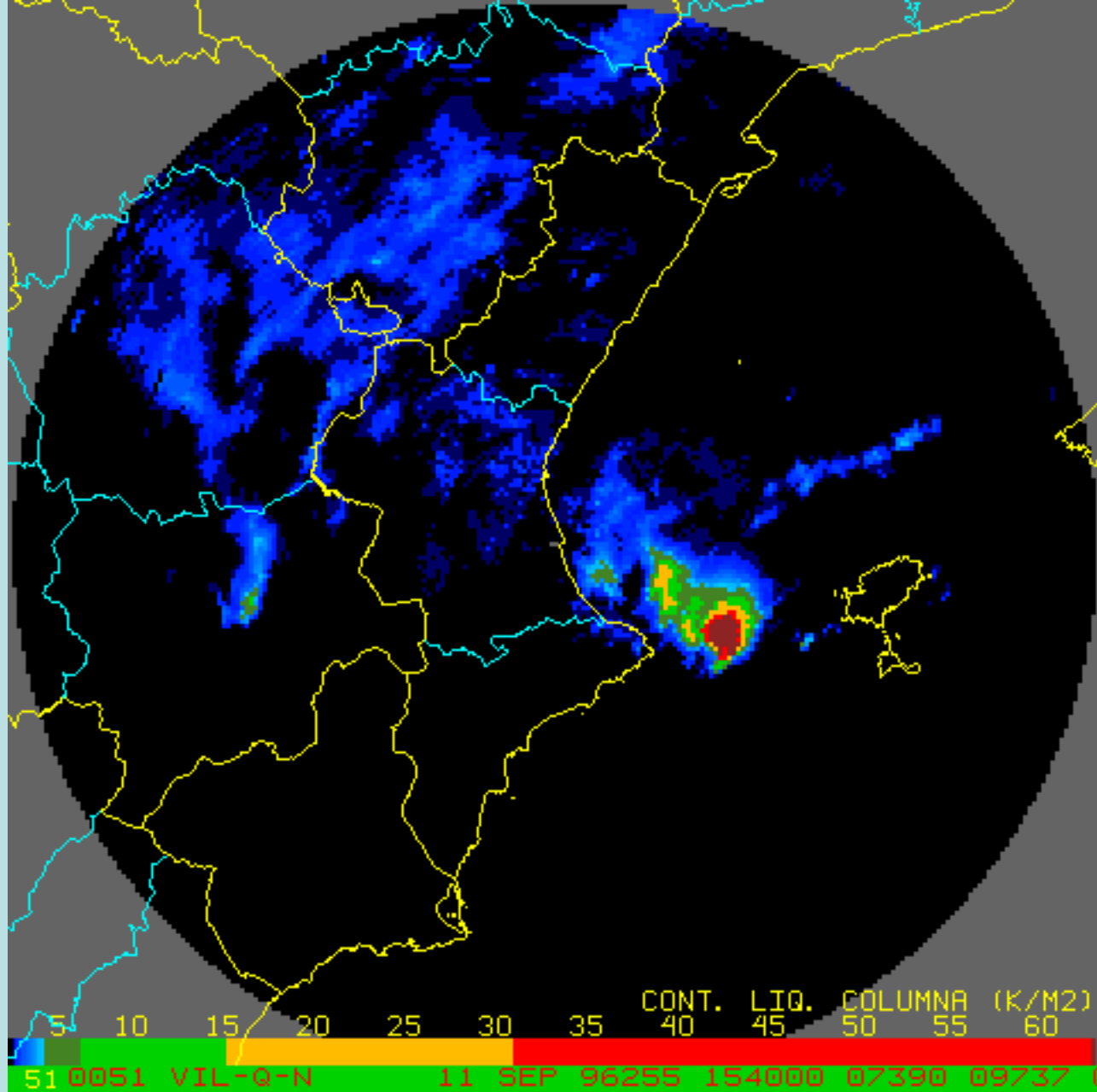
## VIL

1 - junio - 1999 15:30 UTC

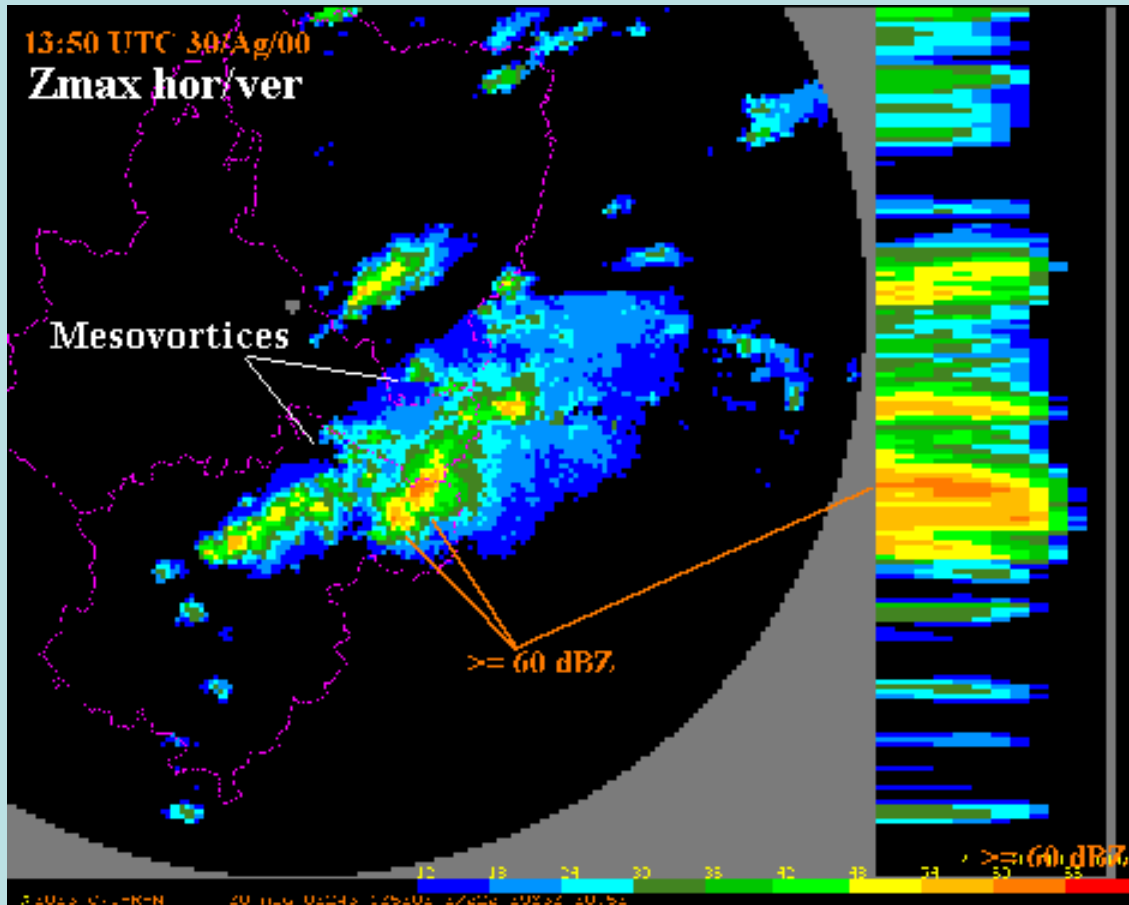
El VIL nos da una idea del contenido de agua líquida en toda la columna del volumen cartesiano.

A mayor VIL, mayor contenido de agua y fenómenos más adversos en superficie.

Las unidades son  $\text{Kg/m}^2$ . Sería el peso del agua sobre la unidad de superficie.



VIL de una situación de convección profunda



A mayor contenido de agua líquida tendremos **mayores valores de VIL**, por tanto mayores corrientes ascendentes. Es un producto muy útil para discriminar células convectivas que pueden llevar asociado **tiempo severo en superficie**.

## 2.- Productos en rango corto



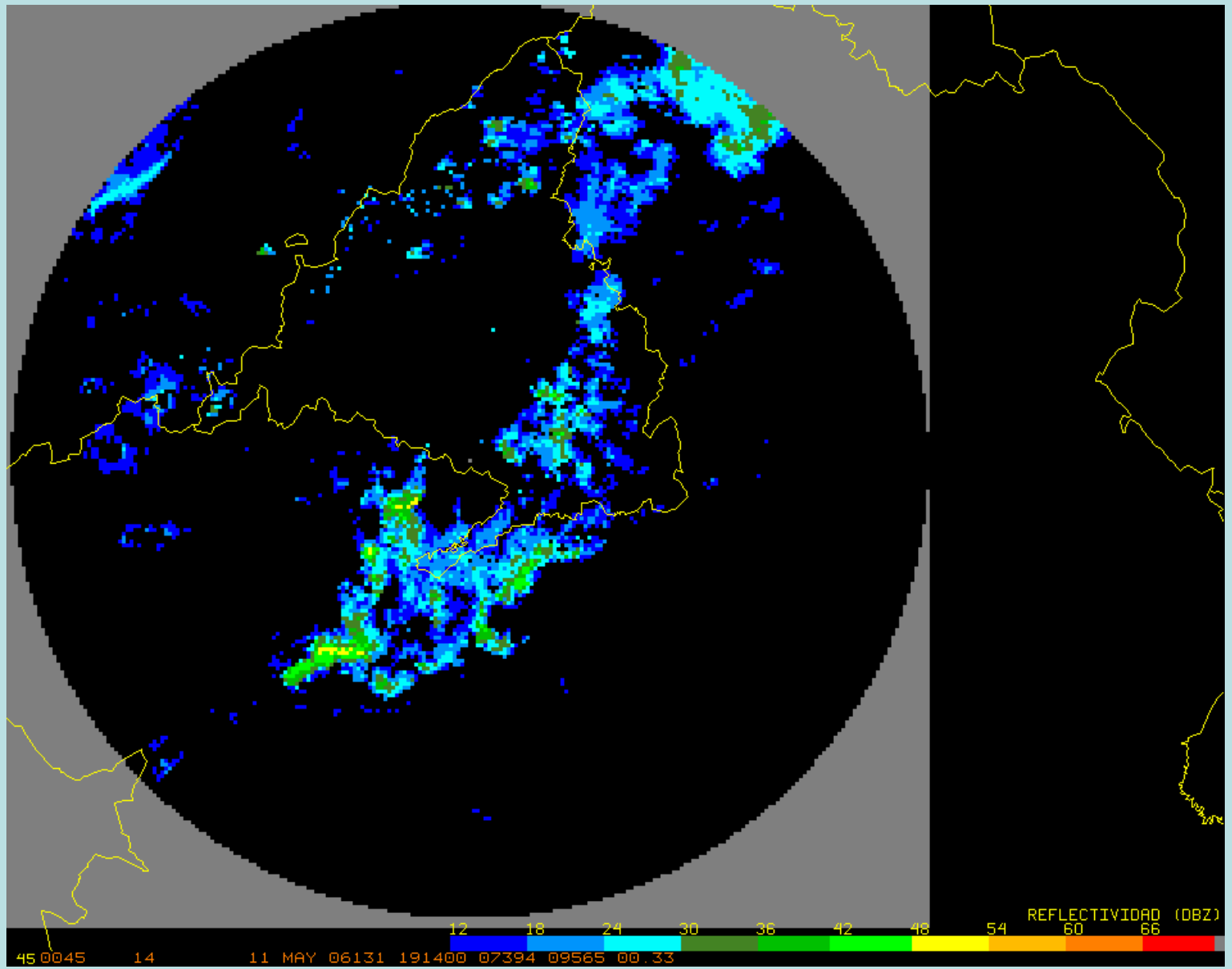
# PRODUCTOS EN RANGO CORTO

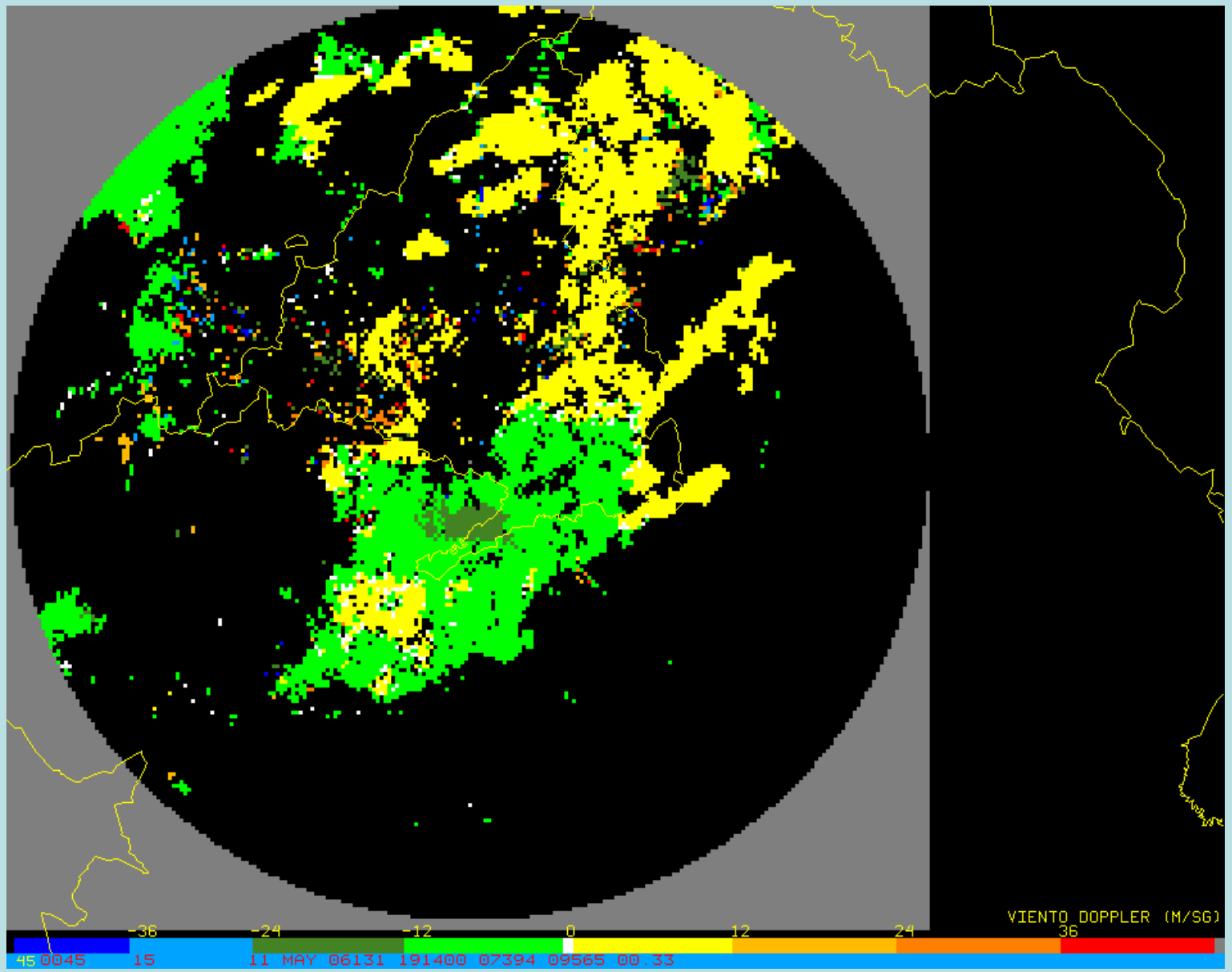
**REFLECTIVIDAD:** PPI, similar al rango largo, pero con mejor resolución espacial (1x1 km).

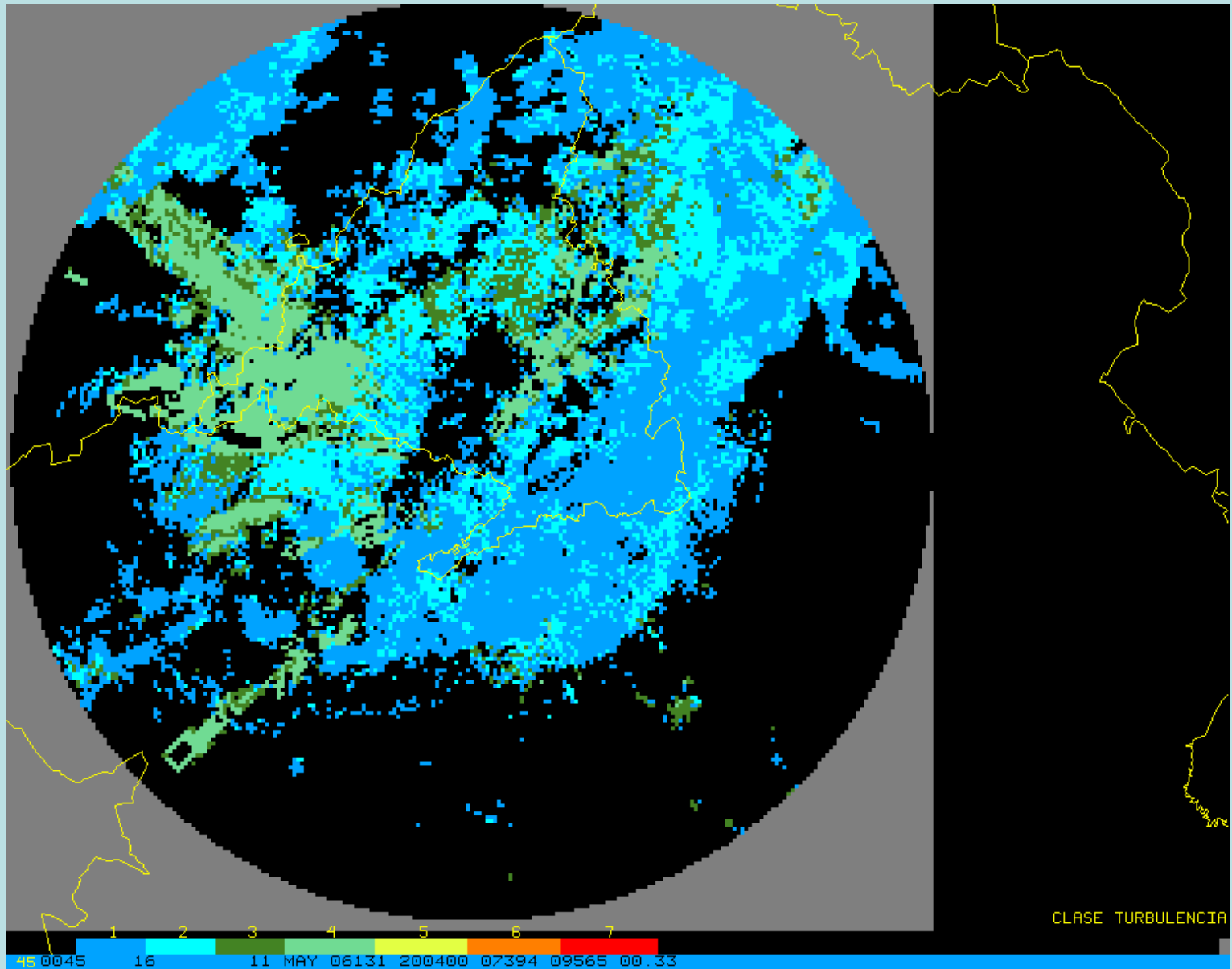
**VELOCIDAD RADIAL:** componente radial del campo de viento en cada punto. Colores fríos velocidad negativa y cálidos velocidad positiva.

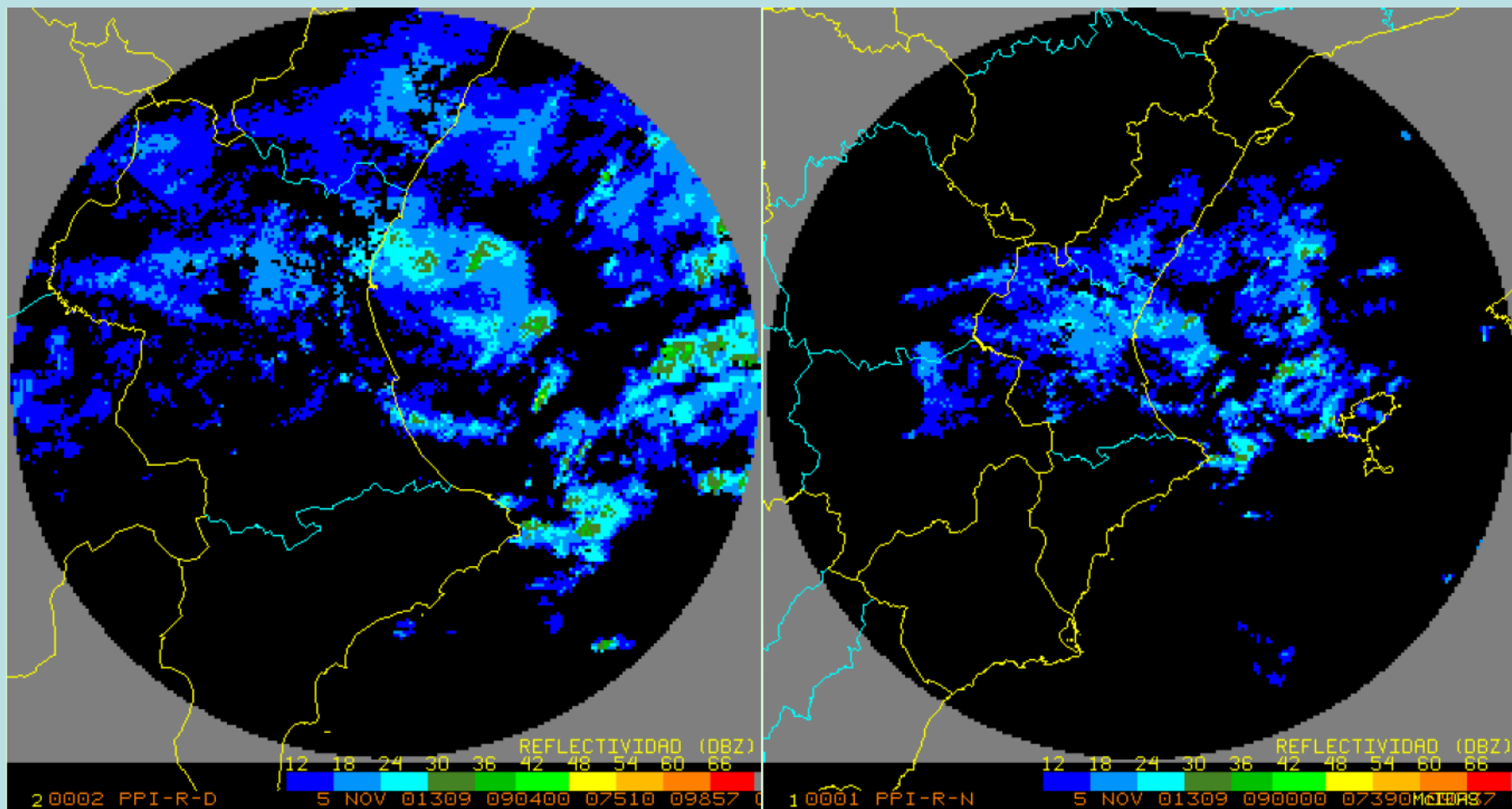
**TURBULENCIA:** a partir de la varianza del espectro de velocidades. Código de colores (de azul a rojo), cada 2 m/s. entre 0 y 6 (débil), de 6 a 16 (moderada o intensa).

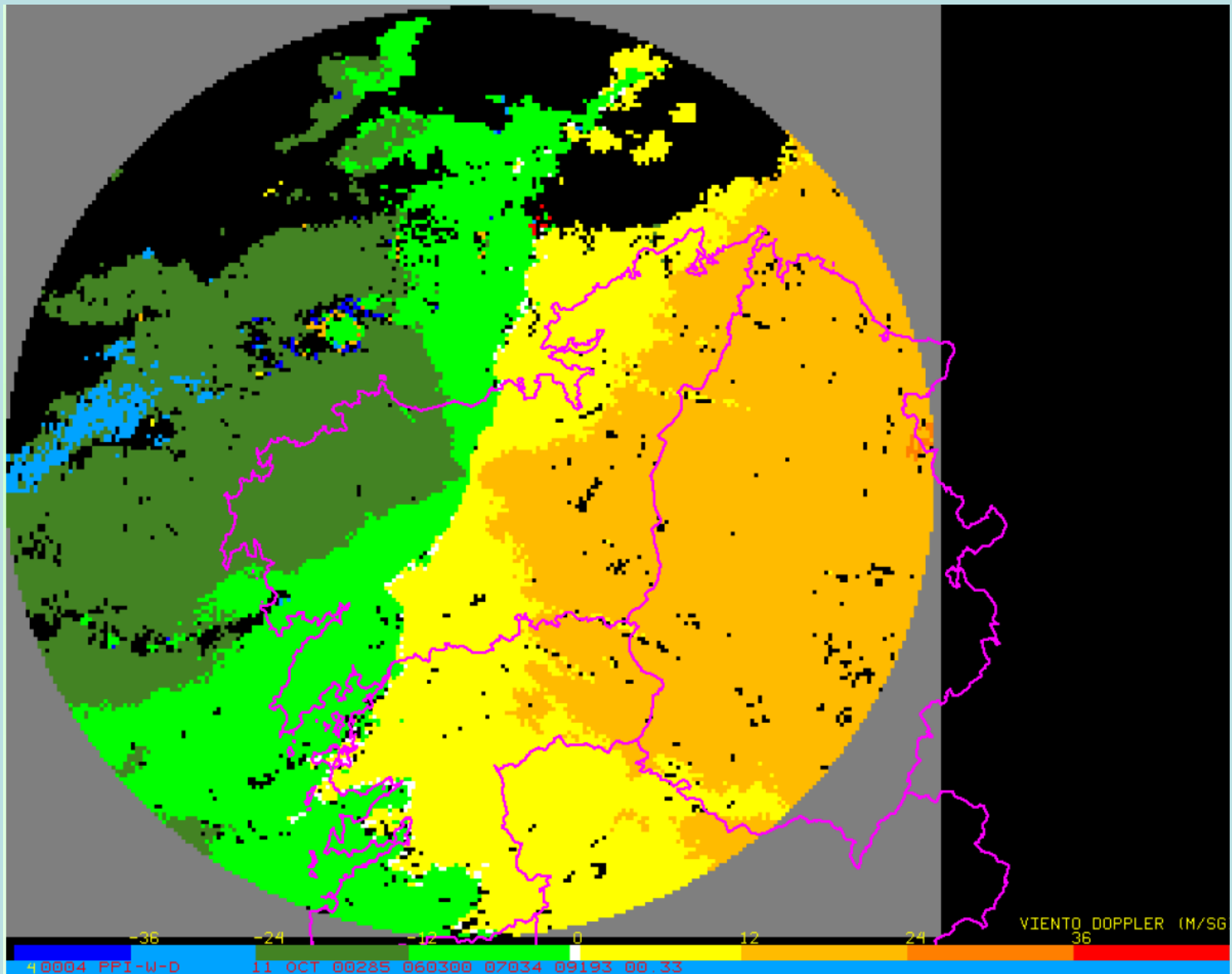
**VAD:** perfiles verticales de viento en la vertical del radar.



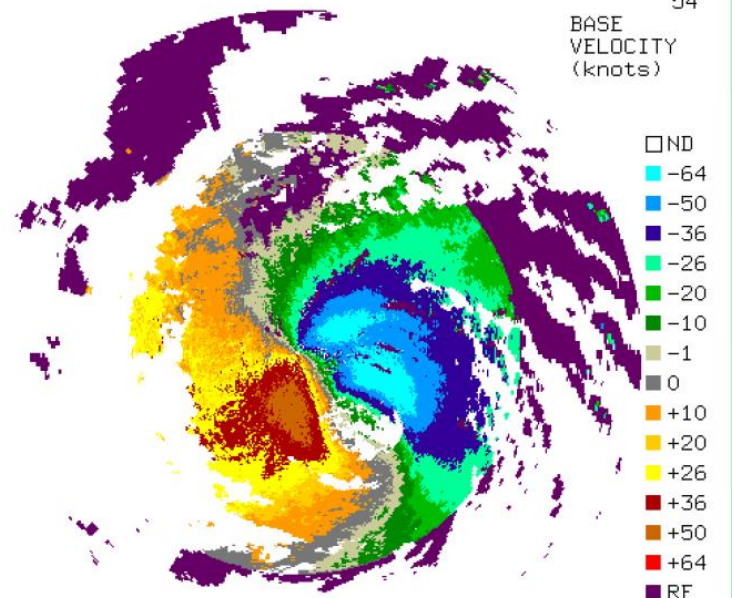
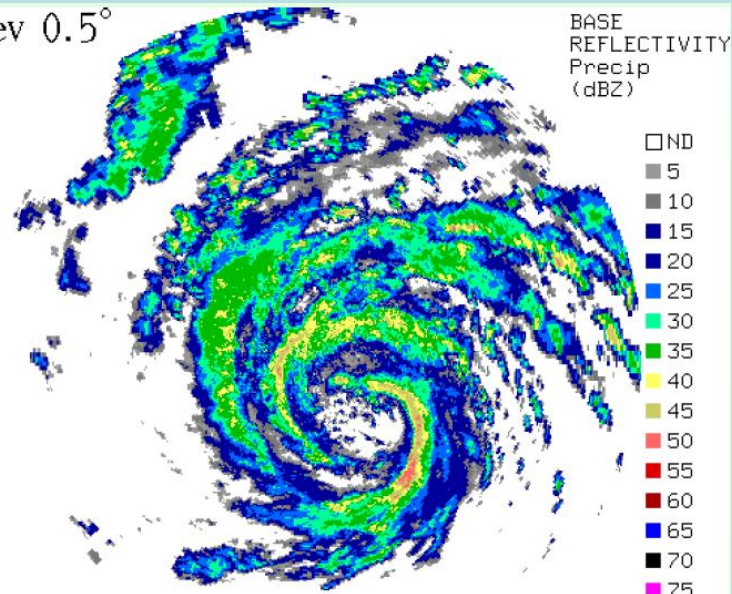








Elev 0.5°



950802

KMLB

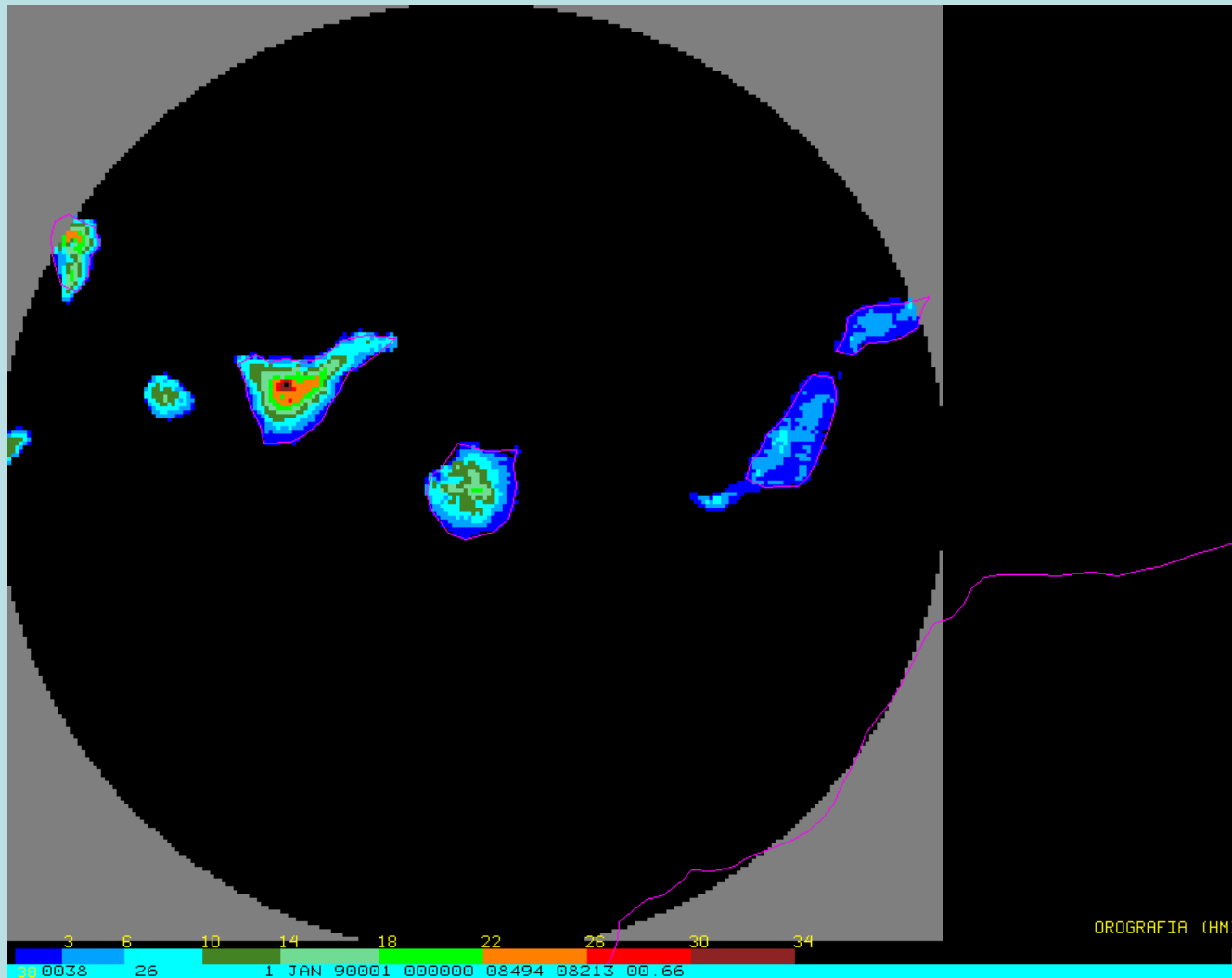
05:32 UTC

RANGE=-90 71

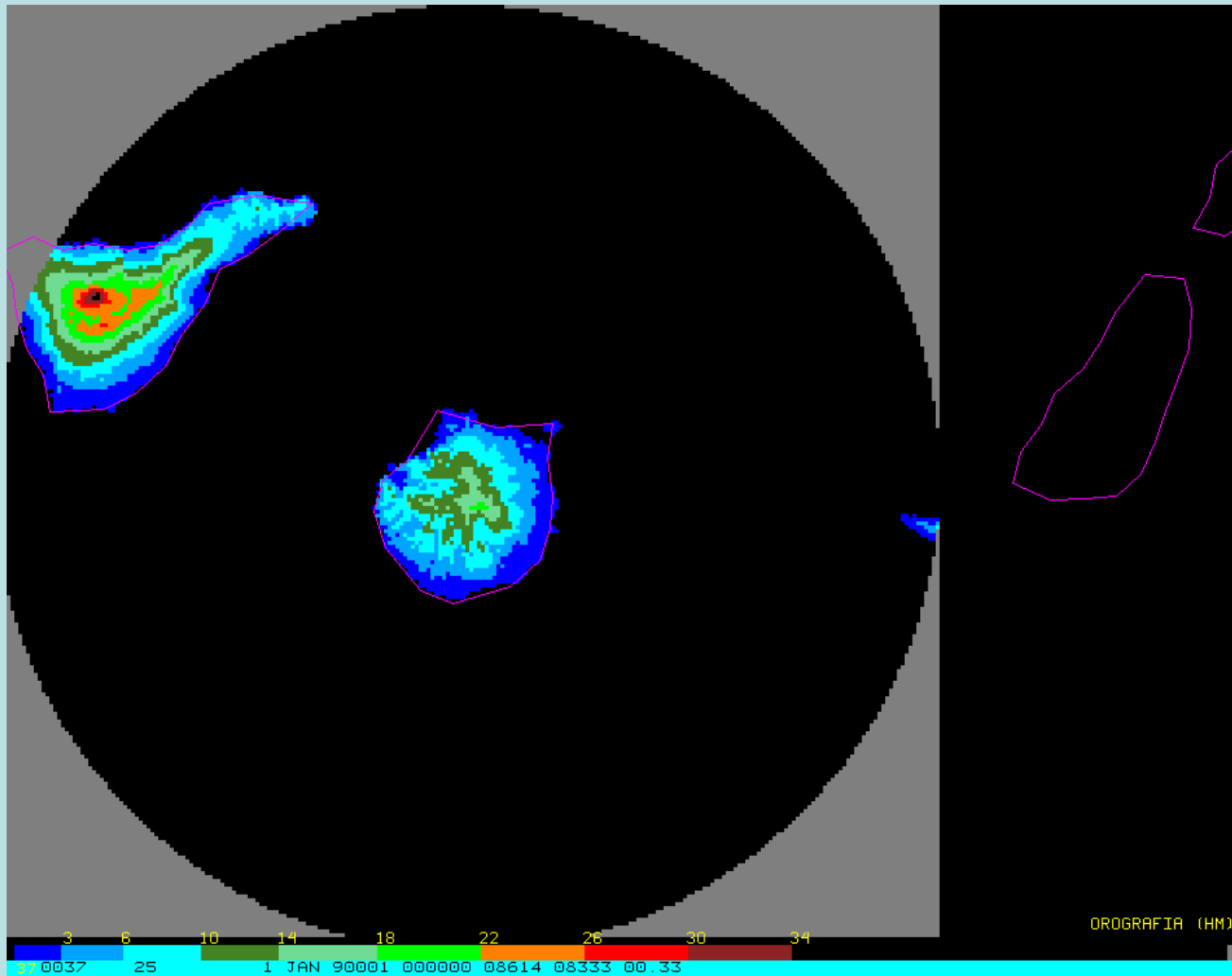
## 2.- Productos auxiliares



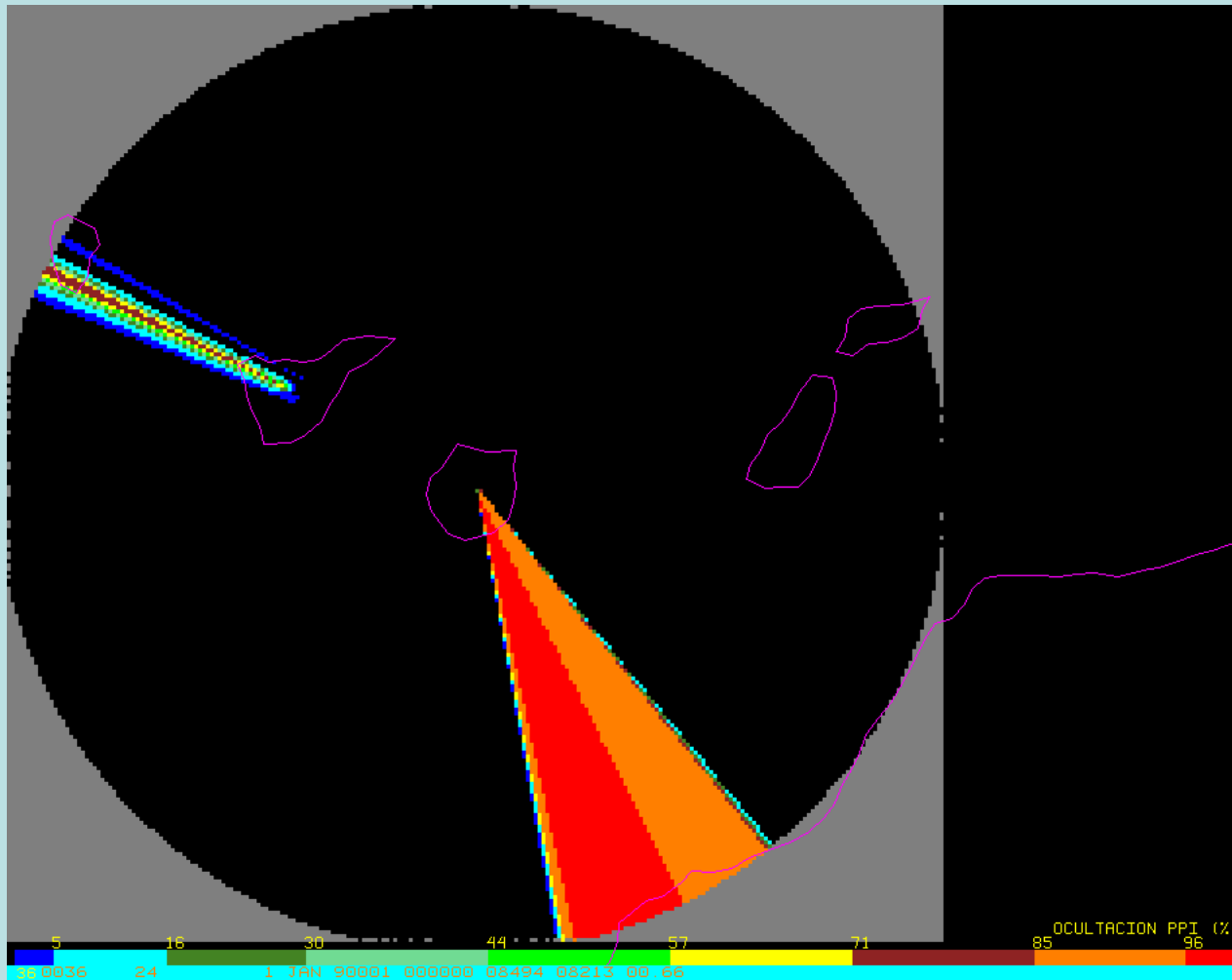
# IMÁGENES INFORMATIVAS



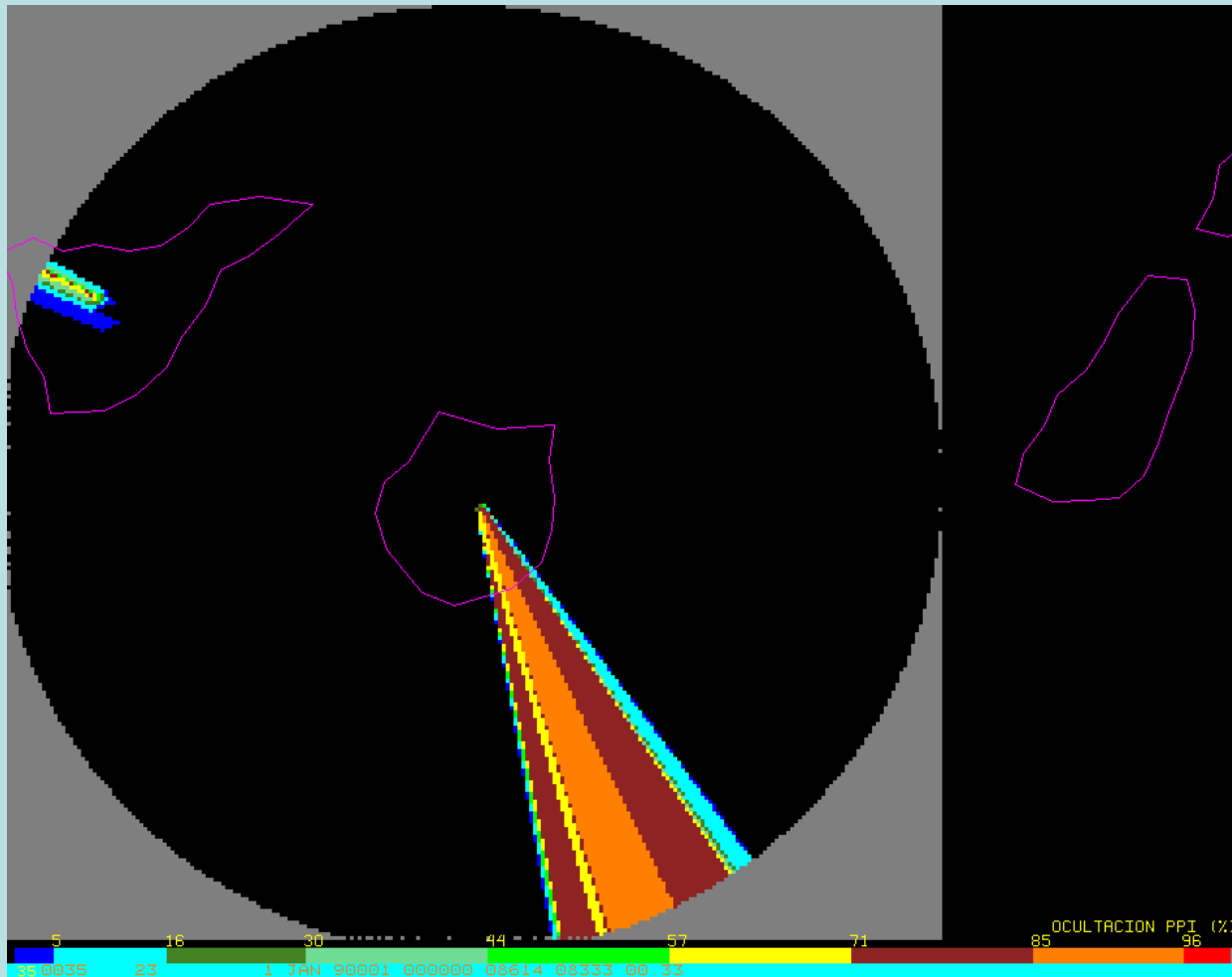
Orografía local (rango largo)



Orografía local (rango corto)



Ocultación PPI bajo (Rango largo)

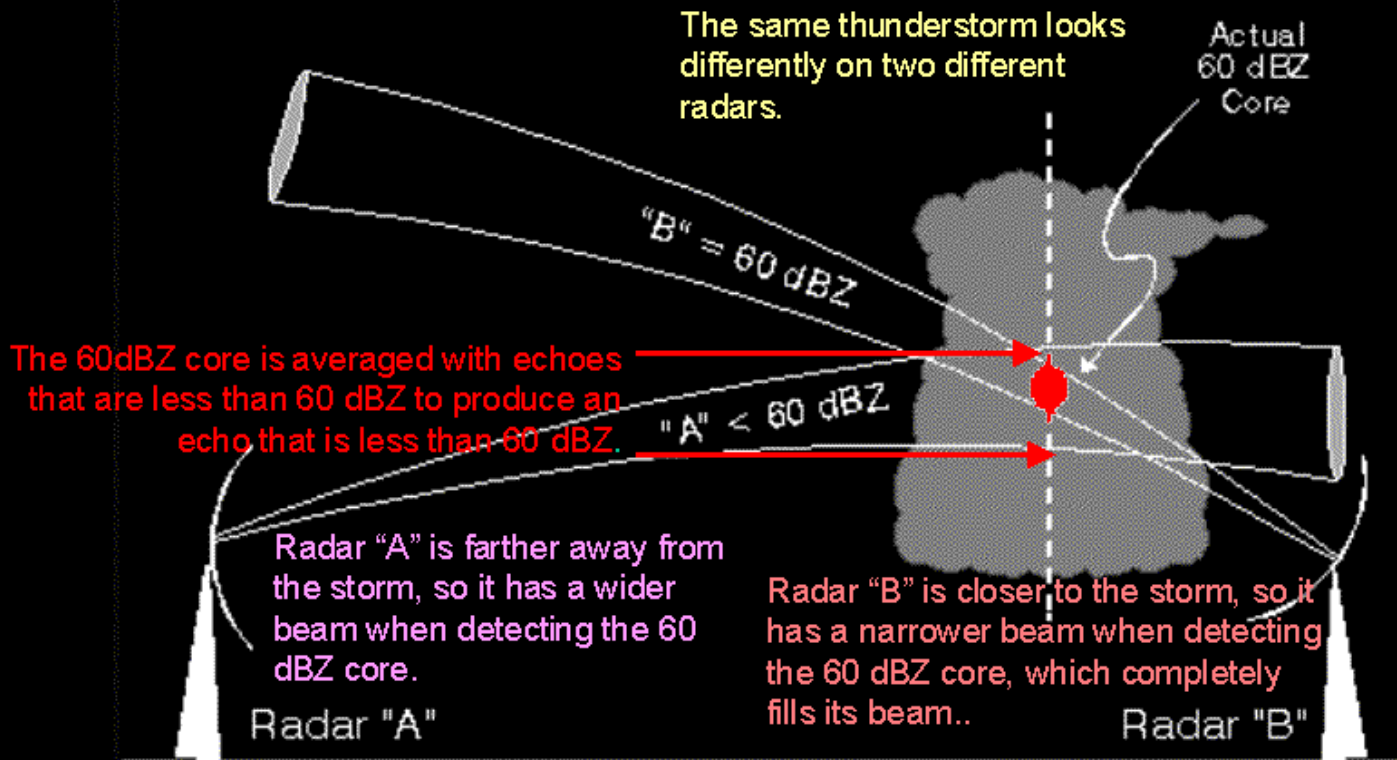


Ocultación PPI bajo (Rango corto)

# 3.- Composición Nacional: problemática y tácticas

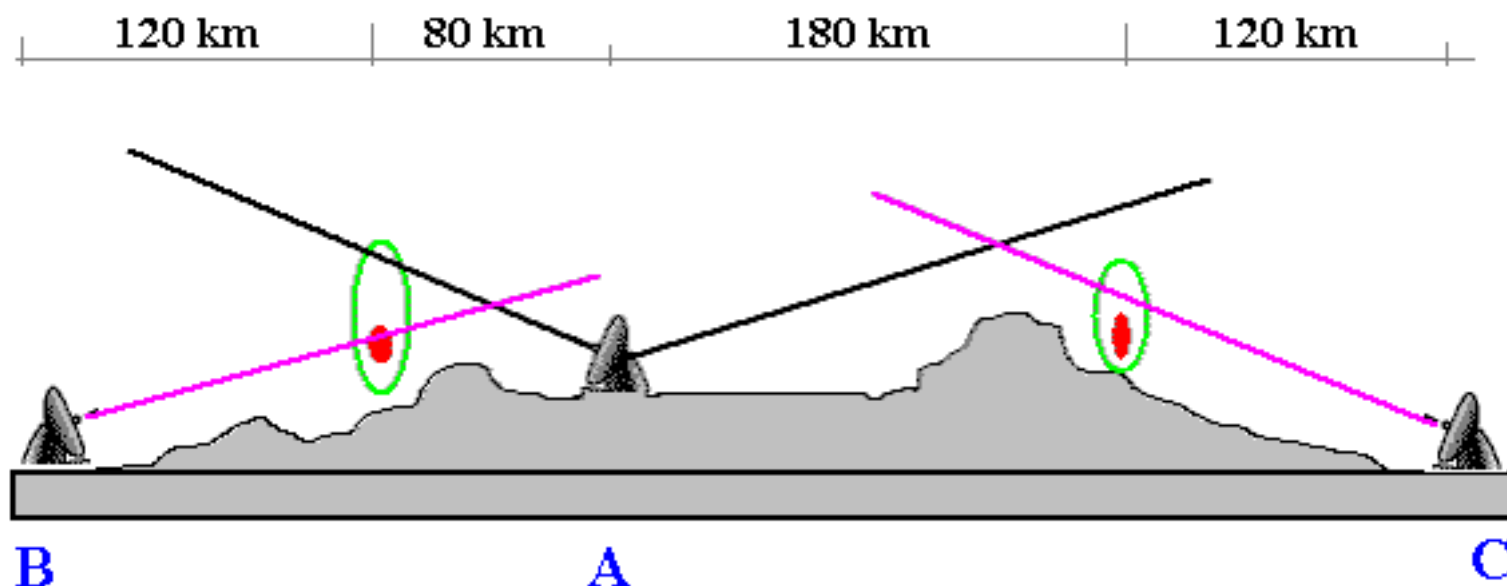
- **Red radares: imágenes mosaico nacional**
  - Necesidad de productos compuestos de TODOS los radares, excepto Canarias
  - Usos: primer escalón de vigilancia nacional y fines aeronáuticos (imagen hidrológica nacional, ...)
  - Composición con otros sensores
  
- **Problemática**
  - Áreas montañosas (apantallamientos y bloqueos)
  - Comunicaciones entre el C. Regional y C. Nacional
  - Volumen de información a transmitir: composición plana 2D vs 3D
  - Qué táctica de composición radar a emplear: según producto y necesidades.

## Radar Beam Broadening and Comparing Two Radars



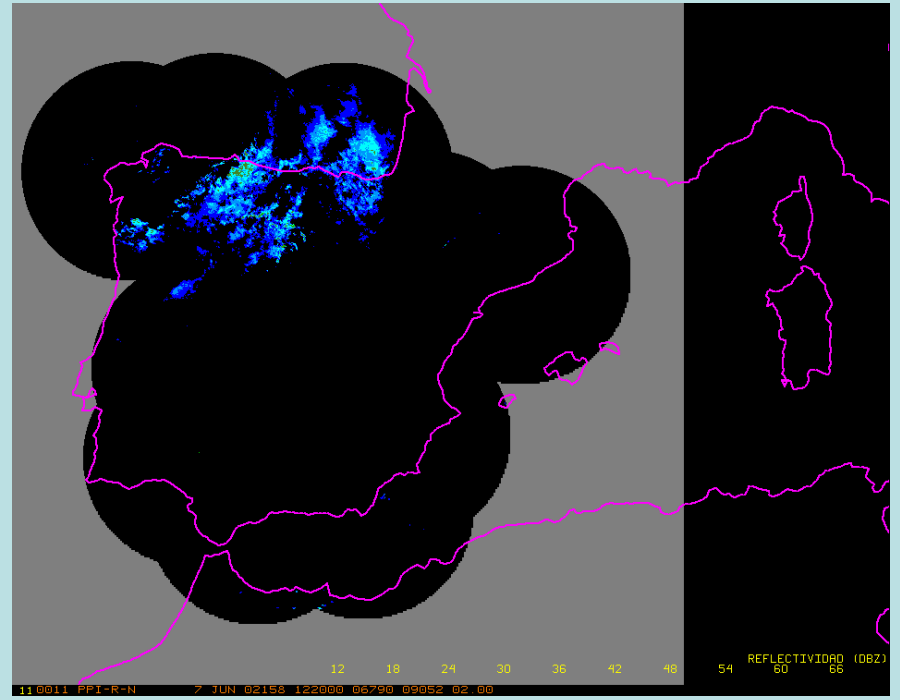
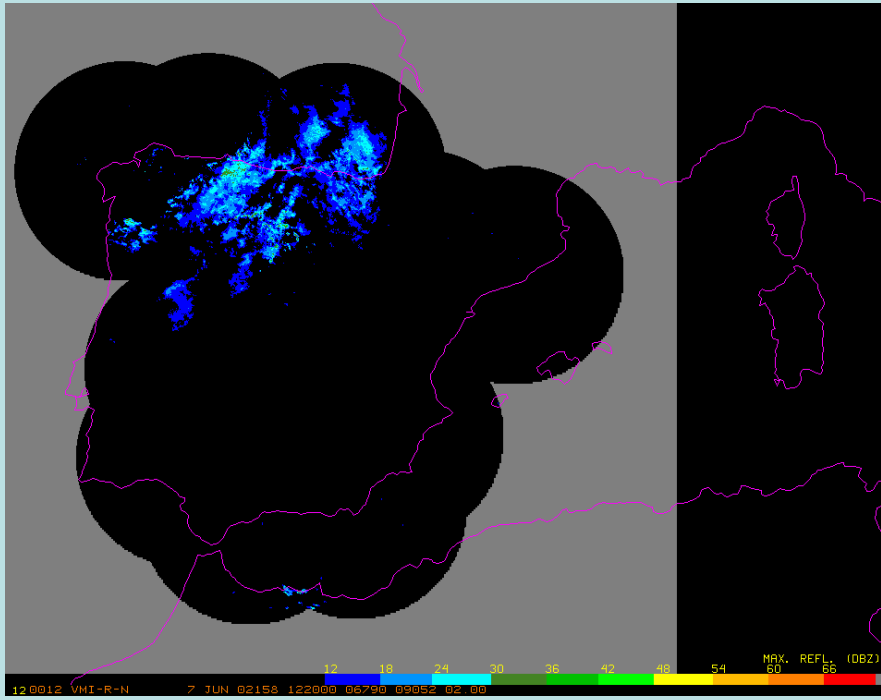
While it is often a good practice to check signatures between multiple radars, broadening of the radar beam with increasing distance from the radar causes storms at far ranges to appear to be weaker than they really are.

# TACTICAS DE COMPOSICIÓN MOSAICO NACIONAL

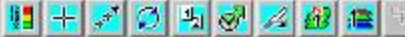


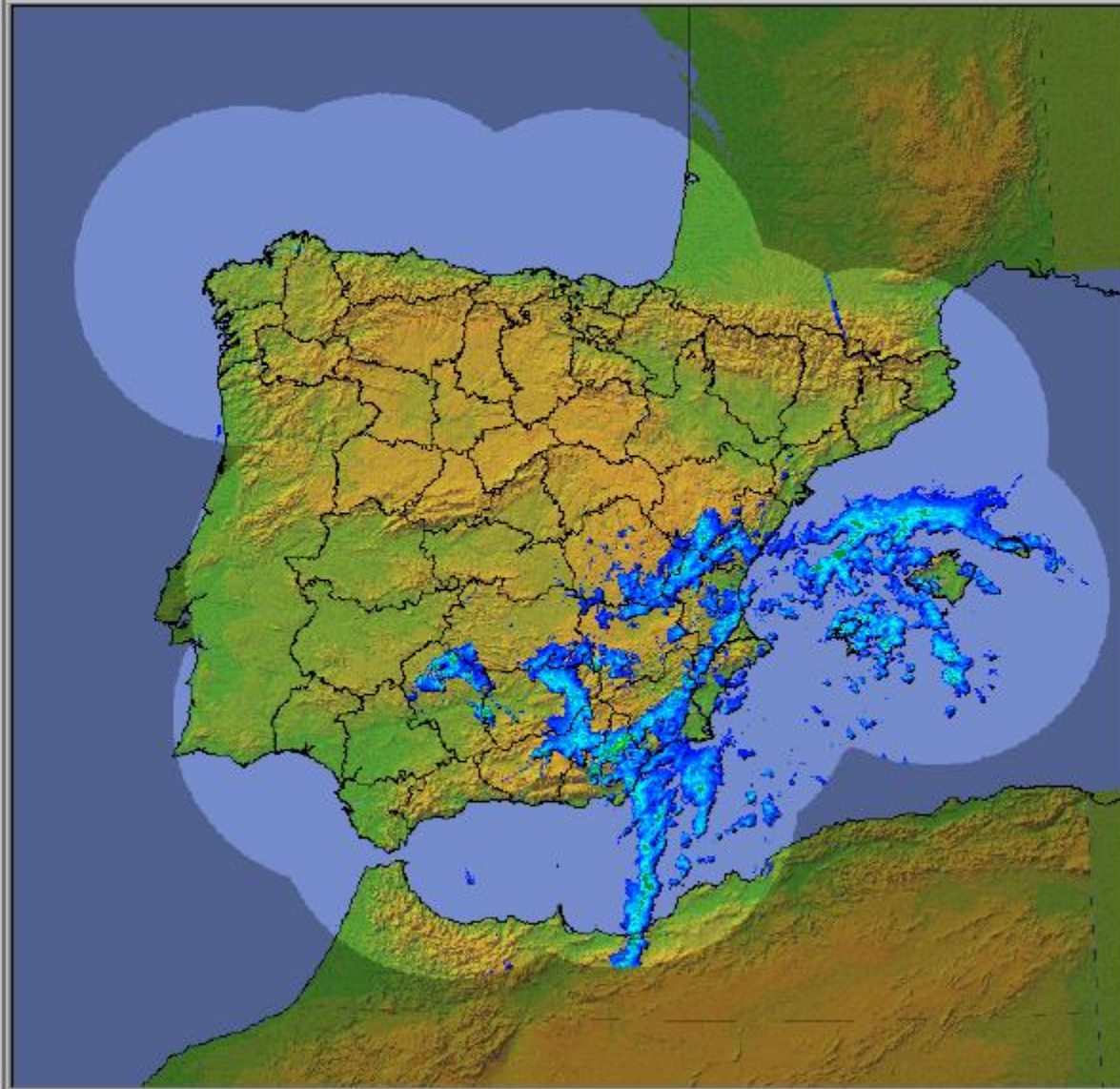
—	<b>Más cercano</b>	—
—	<b>Máximo</b>	—
?	<b>Optimo</b>	—





<b>Producto</b>	<b>Criterio</b>	<b>Observac.</b>
<b>PPI-R-N</b>	<b>Optimo</b>	
<b>ECT-H-N</b>	“	<b>ECHOTOP</b>
<b>XYZ-R-N01</b>	“	<b>CAPPI-2.5</b>
<b>A01-A-N</b>	“	<b>ACC-1</b>
<b>VIL-Q-N</b>	<b>Máximo</b>	<b>VIL</b>
<b>VMI-R-N</b>	“	<b>ZMAX</b>
<b>A06</b>	“	<b>ACC06</b>
<b>A24</b>	“	<b>ACC24</b>
<b>XYZ-R-N07</b>	<b>Cercano</b>	<b>CAPPI 7</b>

File View  User

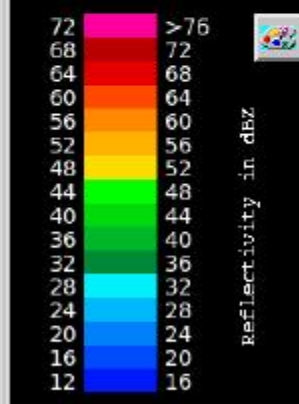


 COM/COM  
 MAX  
 MOS\_ZMAX\_N  
 Max: 16.0 km  
 Range: 760 km  
 VOL\_075\_A

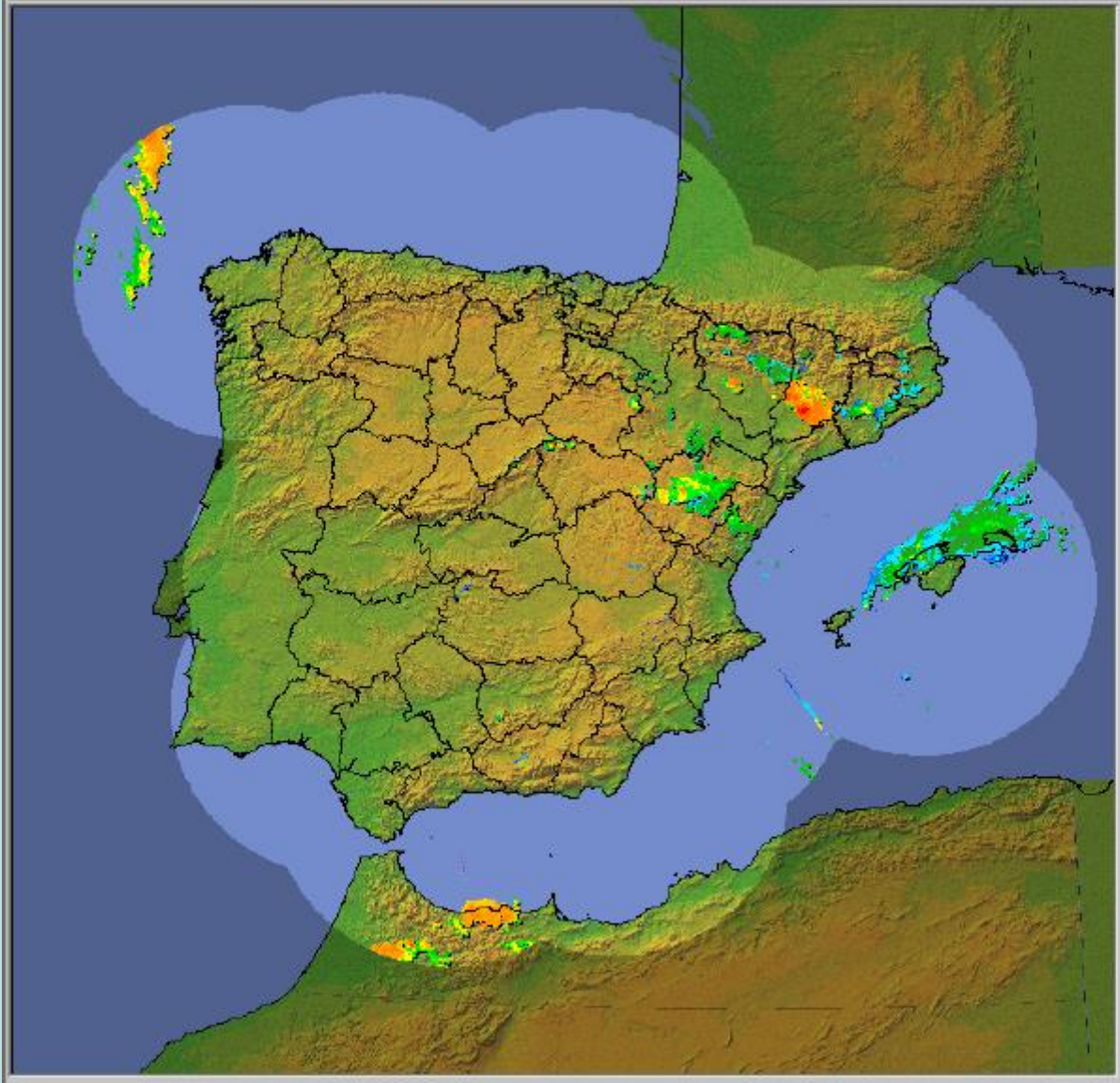
Res: 2111 m/pixel  
PRF: 250 Hz  
Max: 55.5 dBZ  
Az: 66, Rng: 321  
Min: -31.5 dBZ  
Az: 330, Rng: 265

07:00:08 Z  
16 Aug 2016





File View User



COM/COM

TOPS  
 MOS\_TOP\_NEAR  
 Thr: 12  
 Range: 760 km  
 VOL\_075\_A

Res: 2111 m/pixel  
PRF: 250 Hz  
Max: 19.0 km  
Az: 194, Rng: 488  
Min: 0.7 km  
Az: 310, Rng: 581

19:10:09 Z  
16 Aug 2016



## **BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN:**

- **Curso de radar de Juan Pablo Álvarez Alonso (AEMET)**
- **Radar Research and Development Dept. NSSL (EEUU)**
- **Rafael Sánchez-Diezma (Tesis, 2001) de la UPC**
- **Radar Dept. McGill University (Canada)**
- **Curso de radar de Francisco Martín León (AEMET)**
- **Curso de radar de Ismael San Ambrosio (AEMET)**
- **Módulos COMET (NCAR)**
- **NWS (USA)**
- **[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/home.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/home.rxml)**

PIB-M. FASE PRESENCIAL. 2023  
TELEDETECCIÓN PRÁCTICA.

# VIGILANCIA E INTEGRACIÓN DE DATOS

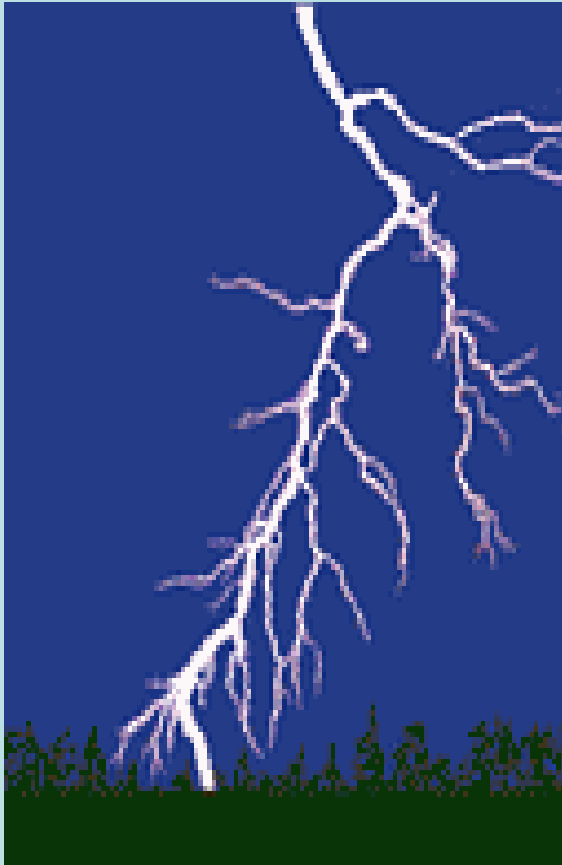
Jesús Riesco Martín.  
jriescom@aemet.es

# RAYOS

- 1.- Rayos y uso en vigilancia
- 2.- Vigilancia básica en radar
- 3.- Integración de datos

# 1.- RAYOS Y USO EN VIGILANCIA

Un rayo es una descarga eléctrica originada por regiones de cargas positivas o negativas en una tormenta.



- Un rayo:  
Consta de varias descargas (strokes). La media es de 3 ó 4.
- La duración de cada descarga:  
Se encuentra aproximadamente en torno a los 30 microsegundos.

Intensidad corriente: kA



# Tipos de descargas eléctricas

## ➤ Tipos comunes

- ✓ Nube-tierra (NT)
- ✓ Intra-nube y
- ✓ Entre Nubes

## ➤ Otros tipos:

- ✓ Rayos en bola, fuego de San Telmo, auroras boreales, etc.

# Descargas Nube-Tierra

*Es la manifestación más dañina y peligrosa.*

La mayoría de las descargas son originadas por las cargas negativas que se acumulan en una zona cercana a la parte baja de las nubes convectivas y parten hacia tierra.

Sin embargo, hay una minoría de descargas que transportan cargas positivas desde la nube hacia tierra. Estas descargas ocurren frecuentemente durante la fase de disipación de una tormenta.



## TIPOS DE DESCARGAS NUBE-TIERRA (NT)

La parte baja de la nube tormentosa presenta normalmente carga negativa. Y la zona superior, positiva.

La descarga desde la zona de carga negativa de la nube, transporta carga negativa a tierra. Esto es lo que se llama descarga negativa.

(NT-)

La descarga desde una zona positiva de la nube se llama descarga positiva (NT+)

## Descargas NUBE-TIERRA (NT)

Hay muchas más descargas Nube-Nube (entre nubes o intra-nube) que Nube-Tierra

El cociente entre ambas (NN/NT) es aprox. 3

Las descargas NT pueden ser:

- Negativas **NT(-)** ó
- Positivas **NT(+)**.

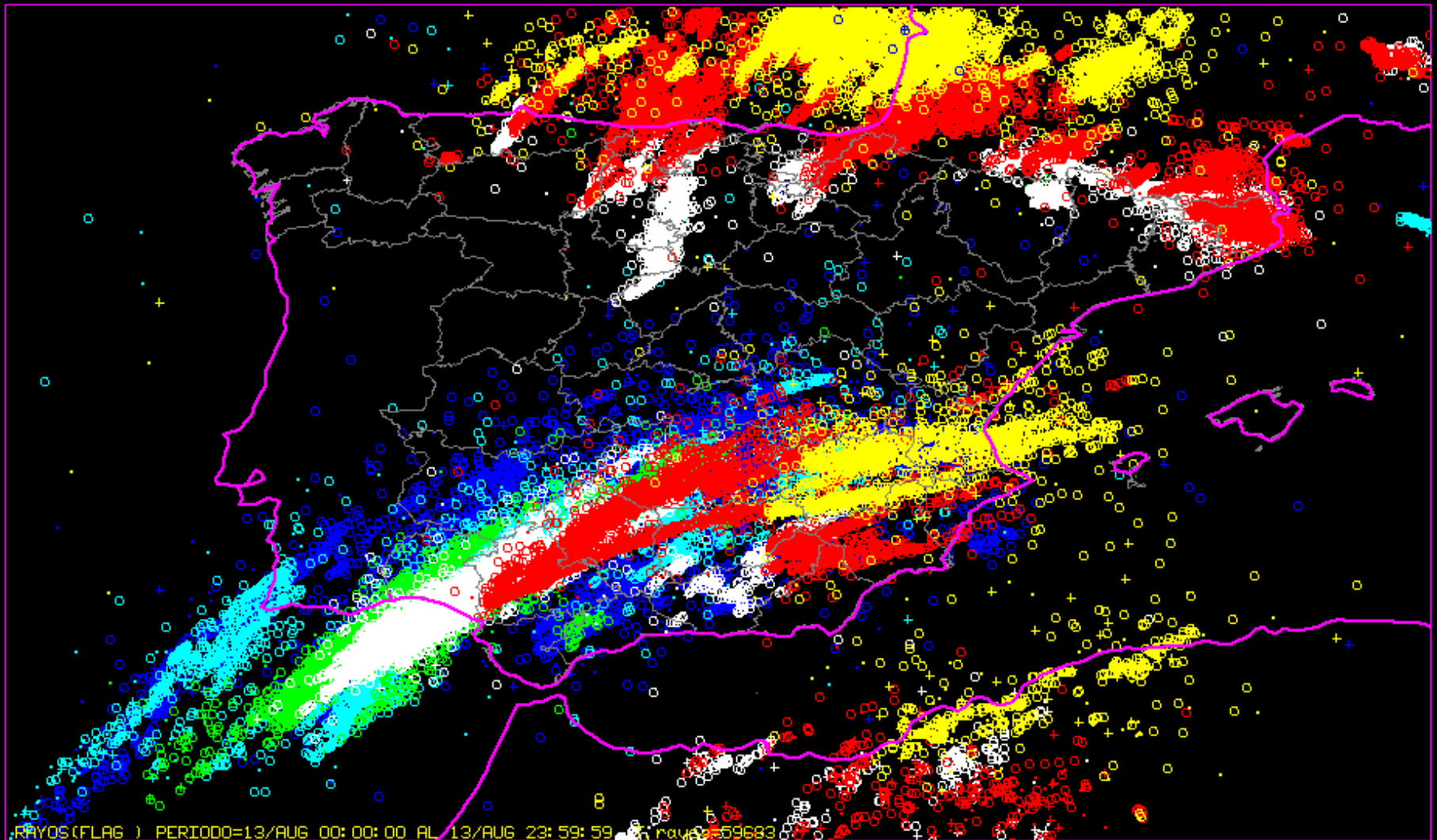
En la mayoría de los casos las descargas NT(-) son las más numerosas.

## Sistemas de Localización de Descargas (Lightning Location System: LLS):

- **Satelital:** instrumento a bordo del satélite  
(Ejemplo: GML: Geostationary Lightning Mapper, LI: Lightning Imager)
- **Terrestre:** detectores en tierra + procesador

**Proporcionan:**

Observación de la actividad eléctrica en la atmósfera  
mediante mecanismos de teledetección



RAYOS(FLAG ) PERIODO=13/AUG 00:00:00 AL 13/AUG 23:59:59

T(hh: mm: ss) =	<03: 59: 59	<07: 59: 58	<11: 59: 57	<15: 59: 56	<19: 59: 55	<23: 59: 54
RAYOS+(1611) =	216	167	75	383	484	286
RAYOS-(9477) =	1017	1152	528	2761	2749	1270
RAYOSo(48595) =	3913	4596	2707	15467	14303	7609

RAYOS TOTALES. Día: 13 Aug 2022

Rayos nube-tierra (+/-) y nube-nube en un episodio

- ❖ Toda tormenta, severa o no, generará un cierto número de descargas eléctricas
- ❖ La intensidad de la convección viene medida por la organización e intensidad de las corrientes verticales; no por el número de rayos
- ❖ Gran actividad eléctrica no implica importantes precipitaciones, ni viceversa.

➤ **Su utilidad se realiza al superponerlos con los datos de radar**, sobre todo allí donde los datos radáricos son ambiguos (zonas apantalladas, áreas con sombras, montañas,,...). La mismas ideas son aplicables a los datos de satélites.

➤ **Su potencialidad queda de manifiesto cuando la actividad eléctrica de una tormenta es notoria**, apareciendo gran cantidad de descargas. En estos casos podemos inferir, casi en tiempo real, la **estructura celular tormentosa** y el **movimiento individualizado** de cada de dichas células.



## NO EXISTEN ESQUEMAS FIABLES. NO OBSTANTE:

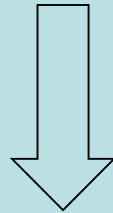
- Alta densidad de rayos negativos puede estar relacionada en muchas ocasiones (pero no siempre) con los máximos de intensidad de precipitación convectiva, severidad (tornados, reventones, etc.)
- Aumento relativo de los rayos positivos al crecer los ecos de precipitación de tipo "estratiforme" en los SCM
- Ausencia de rayos negativos y/o aumento relativo de los rayos positivos en ciertas estructuras radáricas convectivas potencialmente intensas

## Descargas positivas en una nube convectiva

Están asociadas a :

- 1.- Fenómenos convectivos **severos**. (Inicio).
- 2.- **Fase de disipación** de una tormenta.

- Son más dañinas que las negativas porque liberan más energía.



Incendios forestales, daños en aeroplanos, etc.

- Hay más NT(+) en invierno que en verano.

## **Precipitaciones intensas y actividad eléctrica**

La relación entre rayos e intensidad de lluvia presenta gran variabilidad y no existen resultados concluyentes. Depende de muchos factores como la localización, el tipo de tormenta, el estado dentro de su ciclo de desarrollo, etc. Así se encuentran tormentas con rayos y sin prácticamente lluvia (que se evapora en su caída) y también el proceso contrario, donde grandes cumulonimbos marinos producen lluvia pero muy pocos o ningún rayo.

Otros estudios muestran una correlación positiva entre rayos y cantidades de precipitación, con la evolución de la intensidad de rayos y la reflectividad radar altamente correlacionadas, con un buen ajuste entre la localización de la lluvia intensa y las zonas de alta densidad de rayos. Pero lo que es más importante, se ha comprobado en bastantes casos que la intensidad de rayos alcanzó máximos valores justo antes de llegar la precipitación al suelo, lo cual puede ser de gran interés para alertar de precipitaciones intensas.

## **Granizo y actividad eléctrica**

La actividad eléctrica asociada al granizo suele presentar el máximo generalmente coincidente con el momento de la caída de granizo al suelo. En las tormentas con granizo, los rayos nube tierra pueden aparecer unos 10 minutos antes, aproximadamente, y unos 5 km corriente arriba del lugar donde comienza a caer el granizo, sugiriendo que los rayos nube-tierra comenzaron cuando el granizo se estaba desarrollando en el tope de la nube. También se han encontrado grandes correlaciones entre la intensidad de rayos y la intensidad de la tormenta de granizo.

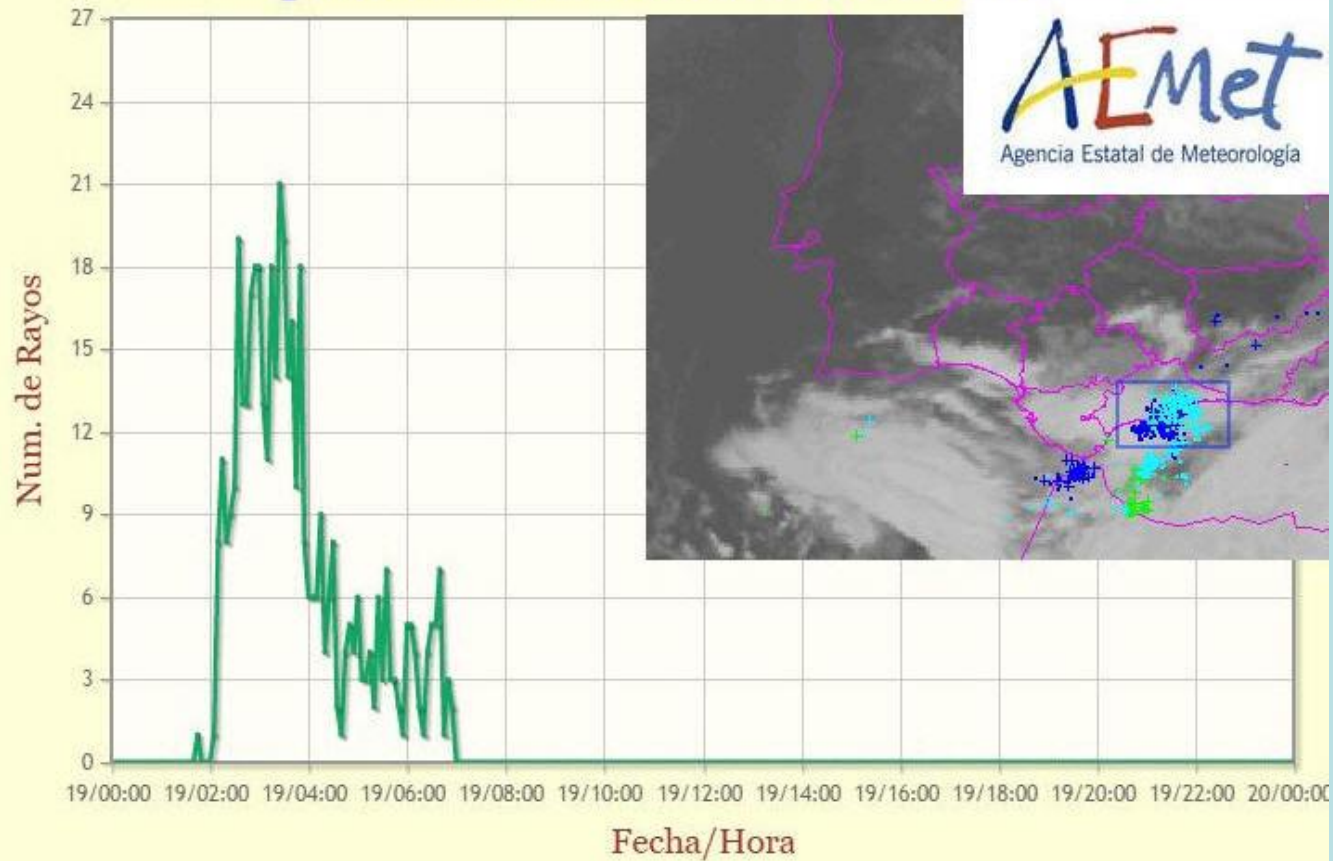
## **Tornados y actividad eléctrica**

Además, el pico de intensidad máxima eléctrica suele ser unos momentos antes de la ocurrencia de los tornados. En muchos estudios se ha observado actividad eléctrica anómala asociada con tornados, predominando descargas positivas.

## **Downbursts y actividad eléctrica**

Se suele producir un decrecimiento de la actividad eléctrica en las proximidades del lugar donde aparece el downburst. También puede aparecer en ese momento un predominio de descargas positivas nube-tierra.

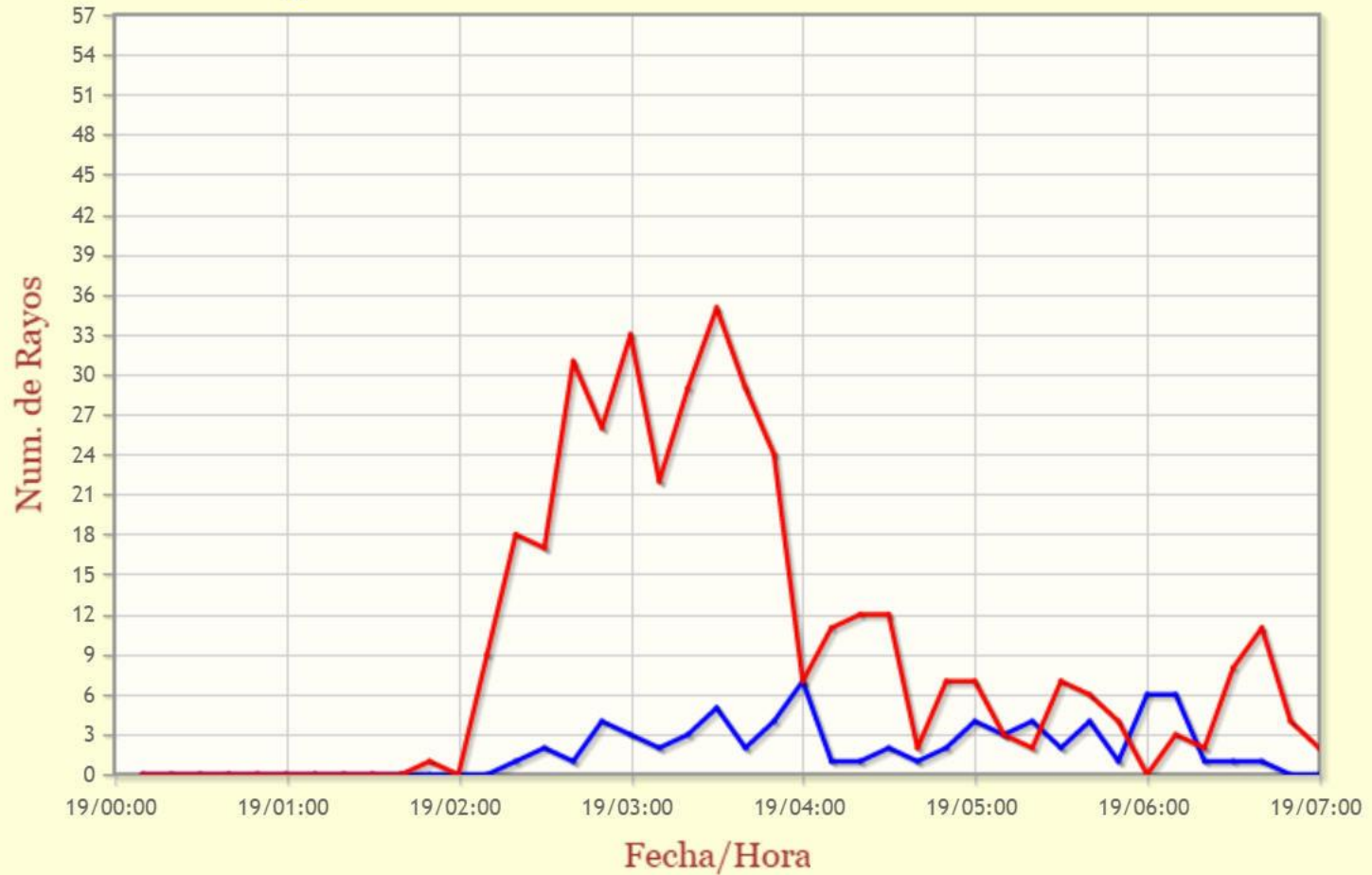
## *Evolución de los rayos registrados en los 5 minutos previos a cada instante indicado*



Resetear Zoom

R.totales: 456  R.positivos: 74  R.negativos: 382

## *Evolución de los rayos registrados en los 10 minutos previos a cada instante indicado*



**R.totales: 458**  **R.positivos: 74**  **R.negativos: 384**

# Loop de evolución espacio-temporal



RAYOS (FLAG ) PERIODO=19/FEB 03:00:00 AL 19/FEB 04:00:00 T.rayos=196  
T (hh:mm:ss)= <03:10:00<03:20:00<03:30:00<03:40:00<03:50:00<04:00:00  
RAYOS+ (37)= 3 7 9 6 5 7  
RAYOS- (159)= 24 33 39 31 25 7

19 Feb 2017. RAYOS de 3 a 4 UTC

HORA ACTUAL: 14:55 UTC

## 2.- Vigilancia y radar meteorológico

- **Modelos conceptuales convectivos (radar)**
  - Convección simple
  - Multicélula
  - Supercélula
  - SCM/CCM. Líneas de turbonada
  - Otros sistemas precipitantes
- **Análisis y vigilancia de la convección**
  - Desplazamiento
    - Traslación
    - Propagación
  - Tren convectivo
  - Organización
  - Realce orográfico
- **Integración de datos**



**La convección: organización y escala**

# Red de radares del SMNM



La Red Nacional de Radares Meteorológicos está formada por 13 radares; todos están provistos con el sistema Doppler, lo que permite conocer la velocidad y la dirección del blanco.

Todas las estaciones de Radar cuentan con un sistema ininterrumpible de energía, sistema de protección contra incendios y un sistema de comunicaciones con el centro colector de datos que se encuentra ubicado en las instalaciones del Servicio Meteorológico Nacional en la Ciudad de México, en donde se analiza, se procesa y se almacena toda la información. La red proporciona una cobertura aproximada del 70% del Territorio Nacional.



## Productos de interés en radar

- PPI reflectividad
- PPI viento radial
- **Máximo de reflectividad**
- **Echotop**
- Vil
- Intensidad de precipitación
- Acumulaciones de precipitación

• **Necesidad de estadísticas de valores para cada radar de los valores adversos para las precipitaciones de la zona**

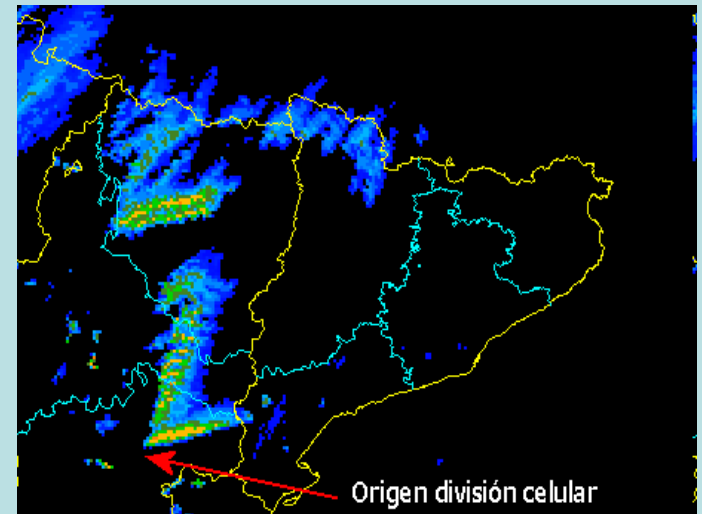
• **A veces problemas derivados de zonas de mala visión, cercanía o lejanía de los ecos, etc.**

# 3.- Integración de datos

## Integración de datos en vigilancia convectiva

Integración de datos  
(radar + satélite + rayos + datos SFC+ MNP+ ....)

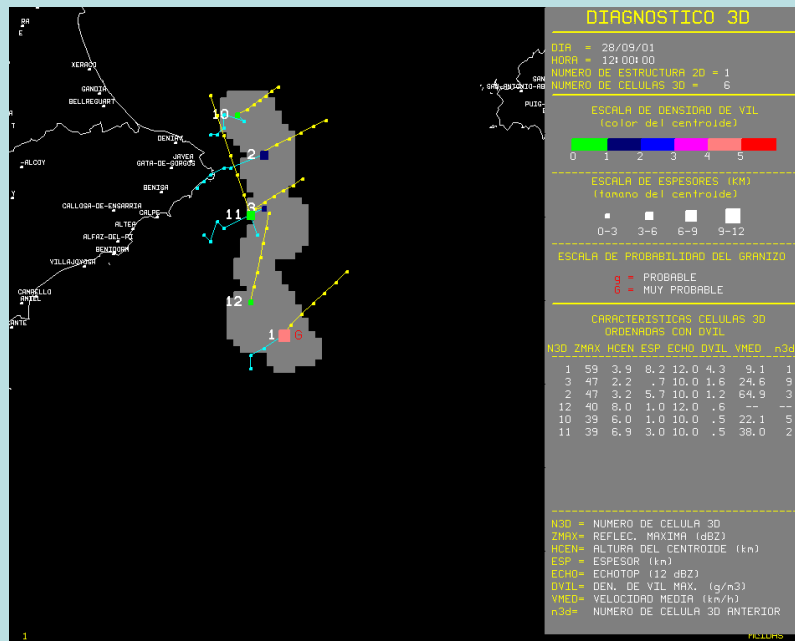
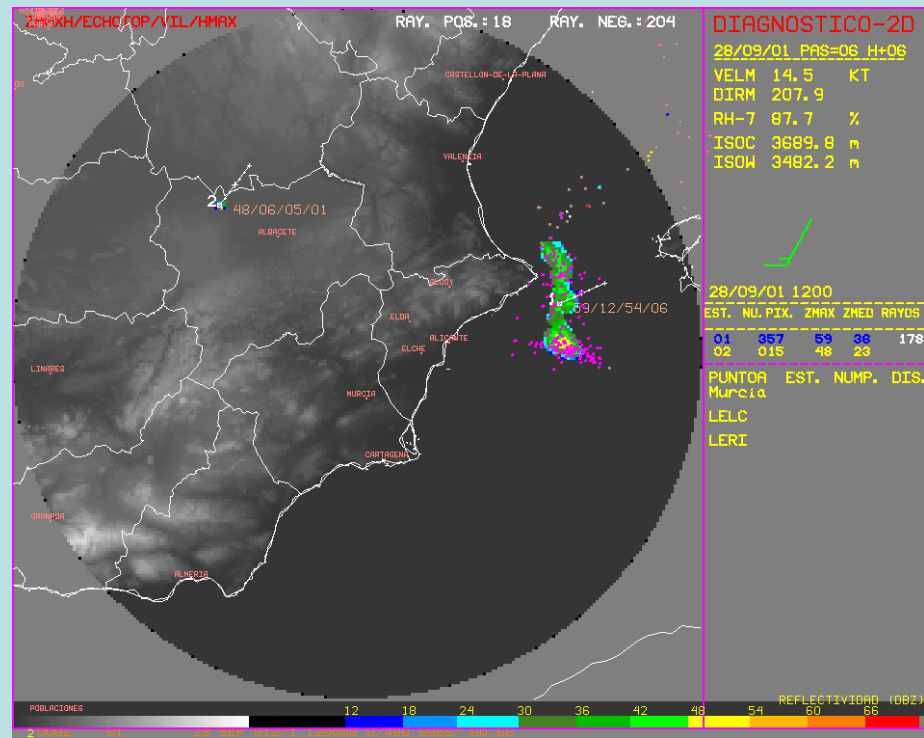
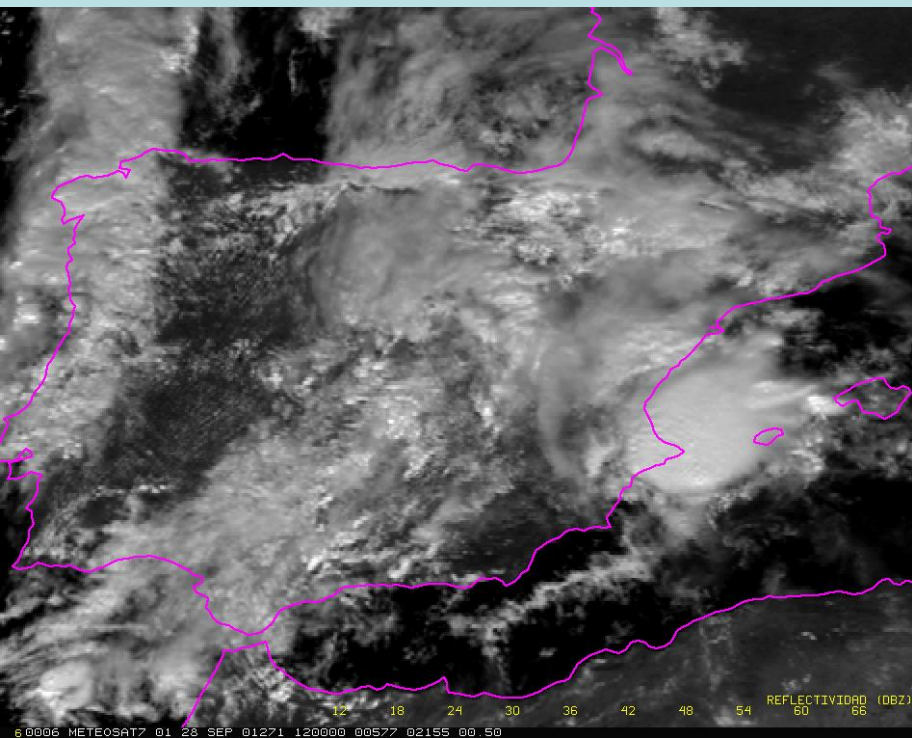
Herramientas objetivas sobre la caracterización de la convección



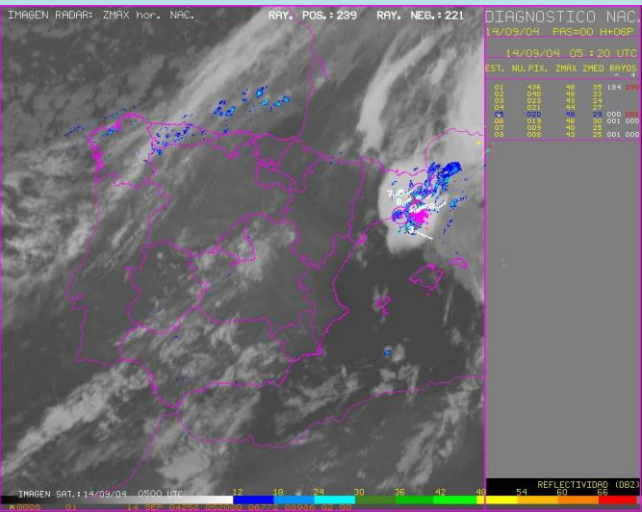
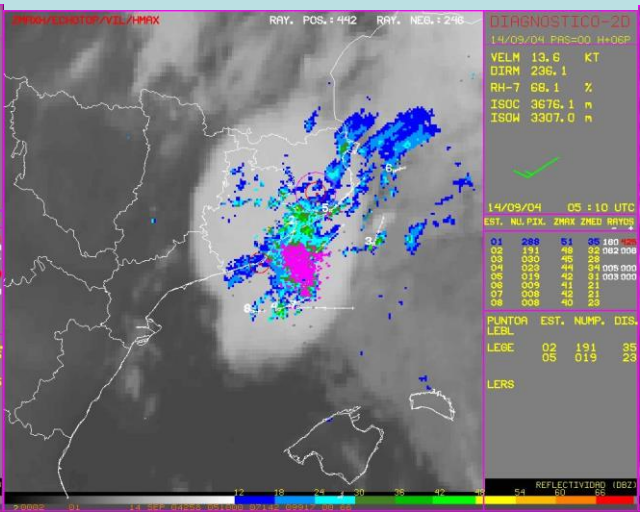
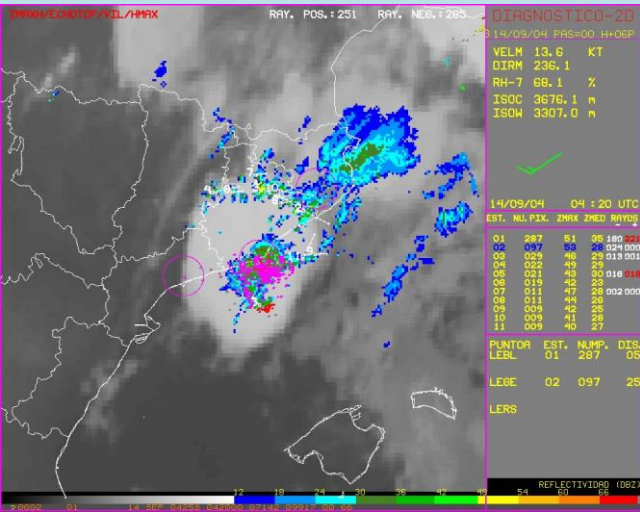
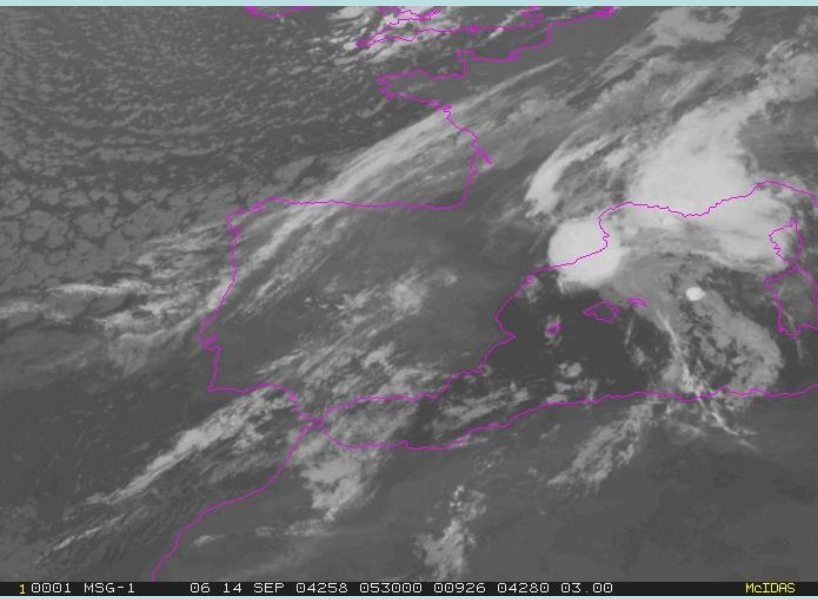
# Métodos y herramientas específicas

Métodos objetivos de caracterización de la convección  
Herramientas y módulos específicos

El predictor necesita tiempo para analizar la  
situación y la toma de decisiones



# Integración de datos



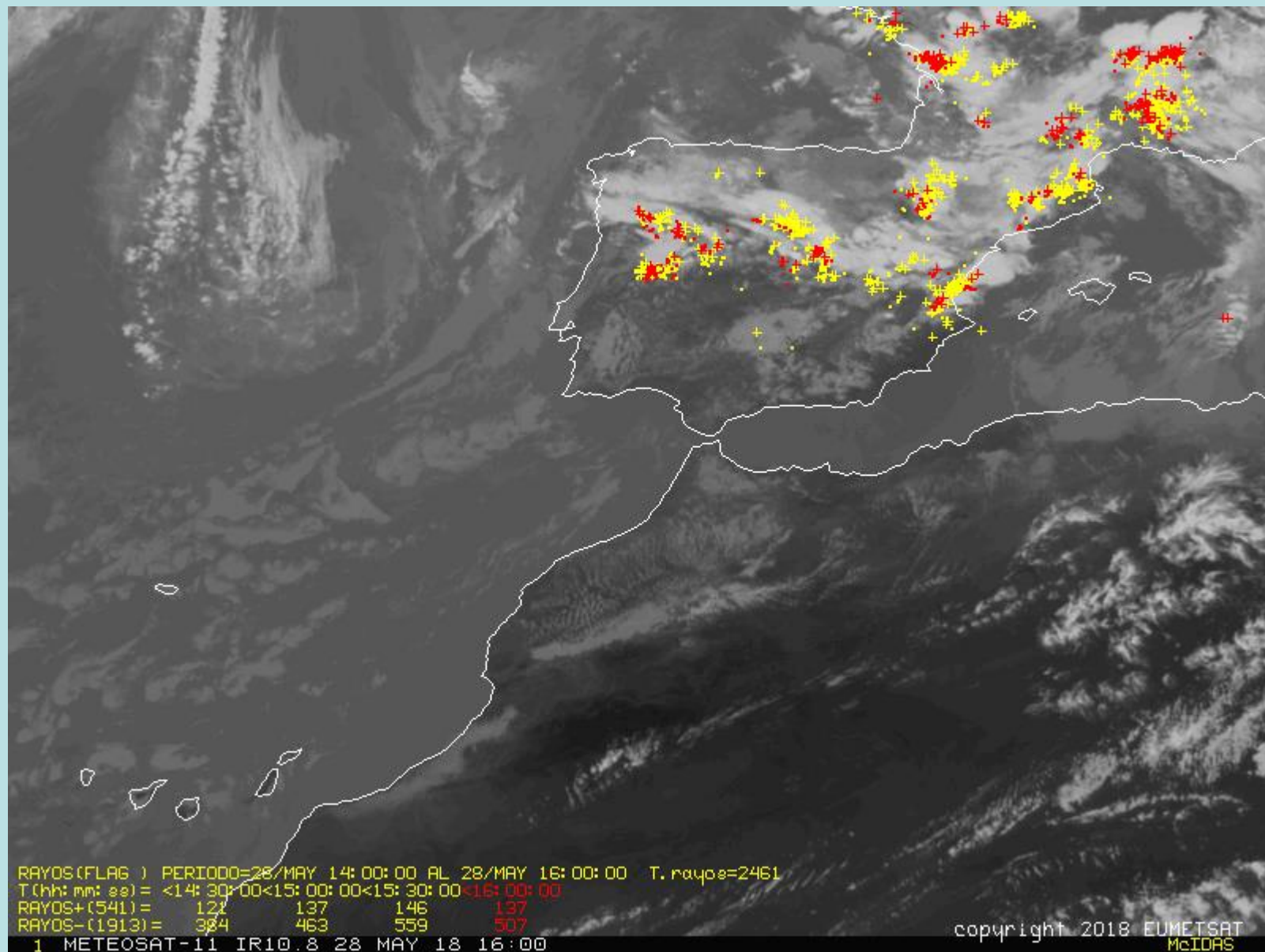


IMAGEN PPI Z. RADAR: NACIONAL  
IMAGEN SAT.: 13/04/18 09:15 UTC

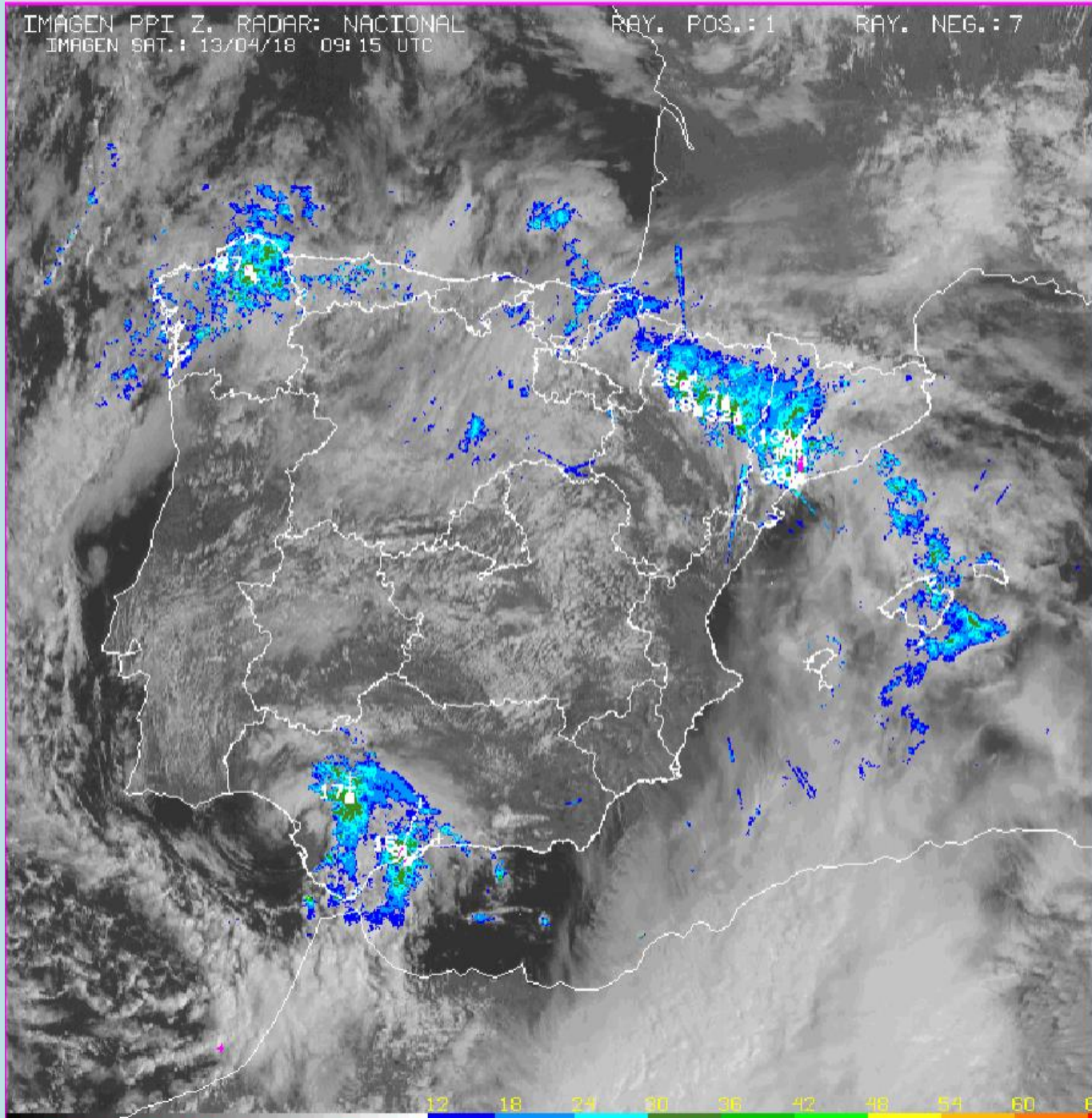
RAY. POS.: 1 RAY. NEG.: 7

DIAGNOSTICO 2D  
13/04/18 PAS=00 H+09

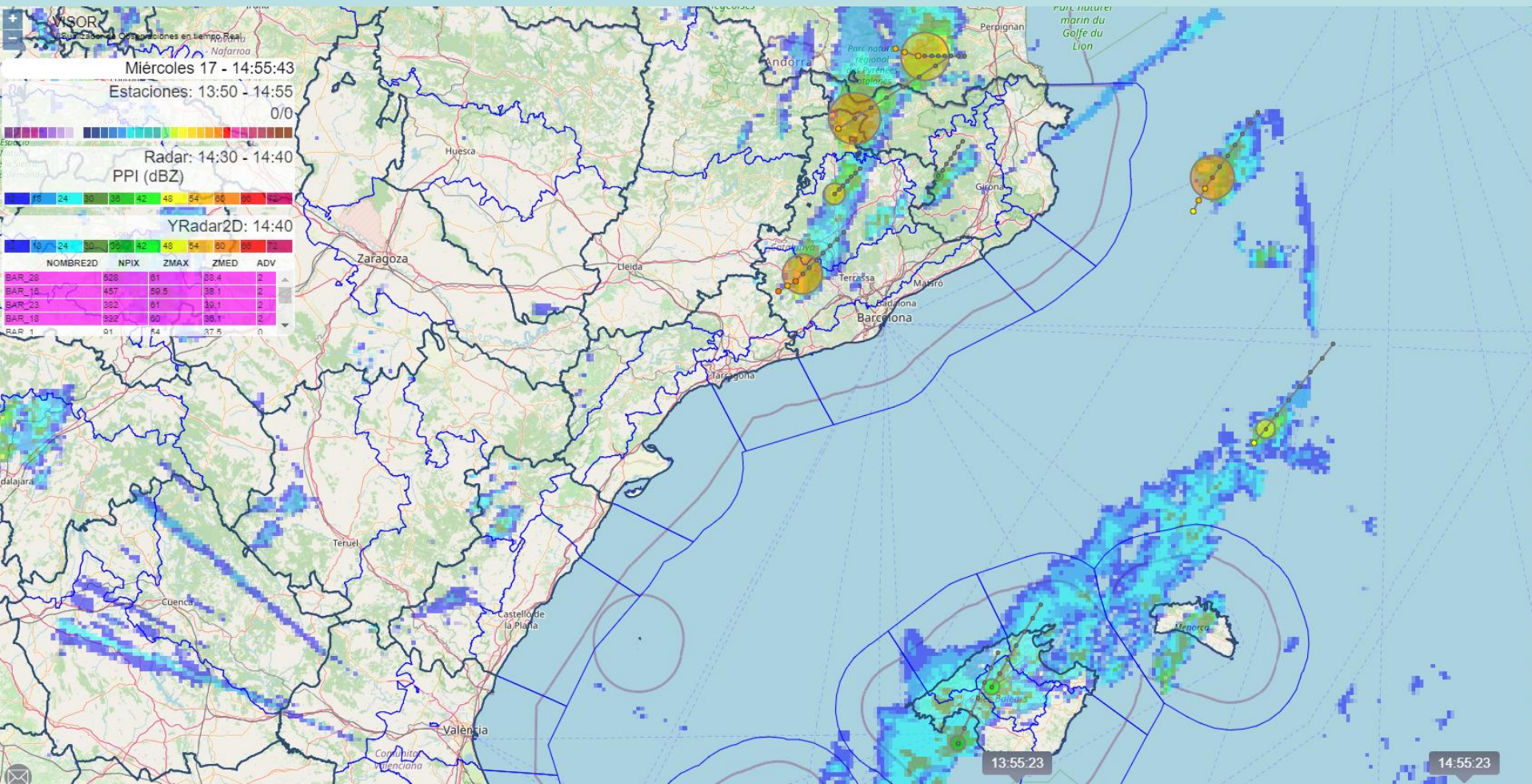
13/04/18 09:30 UTC

EST. NU.PIX. ZMAX ZMED RAYOS  
- +

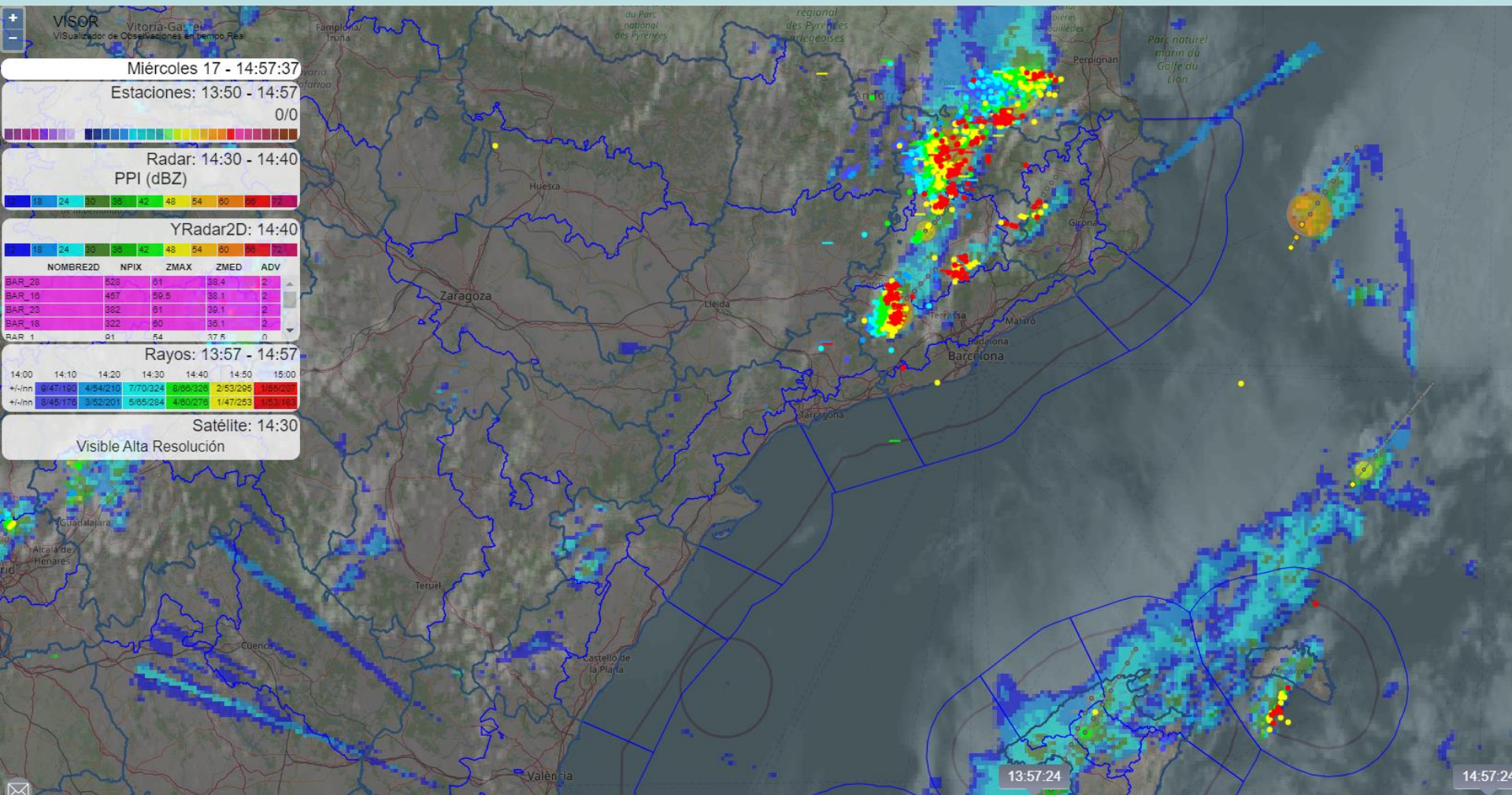
32	308	47	37	
14	265	55	38	007 000
28	211	47	36	
27	125	45	37	
07	119	42	37	
04	104	42	37	
09	103	47	33	
13	080	42	37	
33	050	43	36	
10	038	45	35	
17	035	41	34	
18	027	45	36	
15	025	40	34	

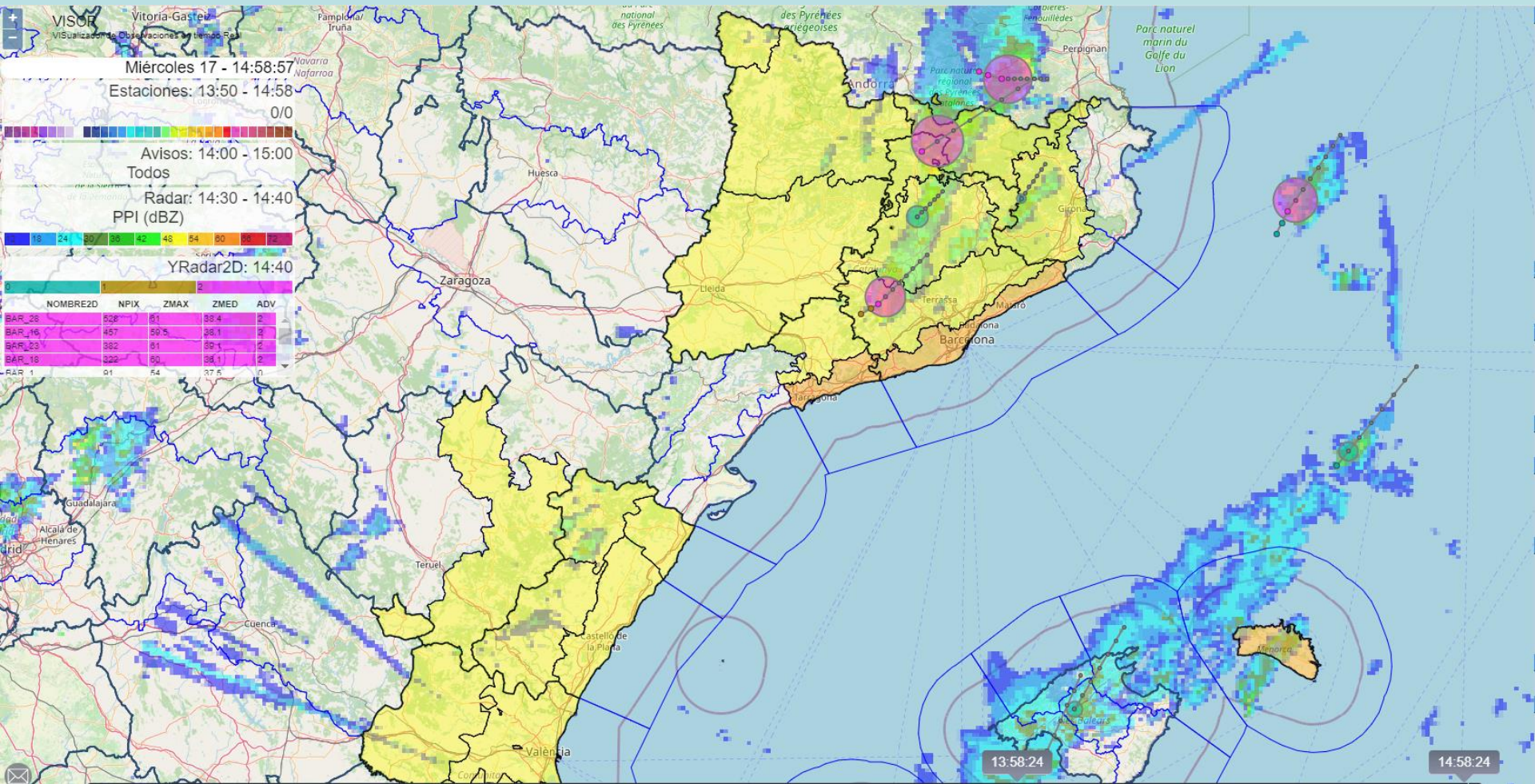


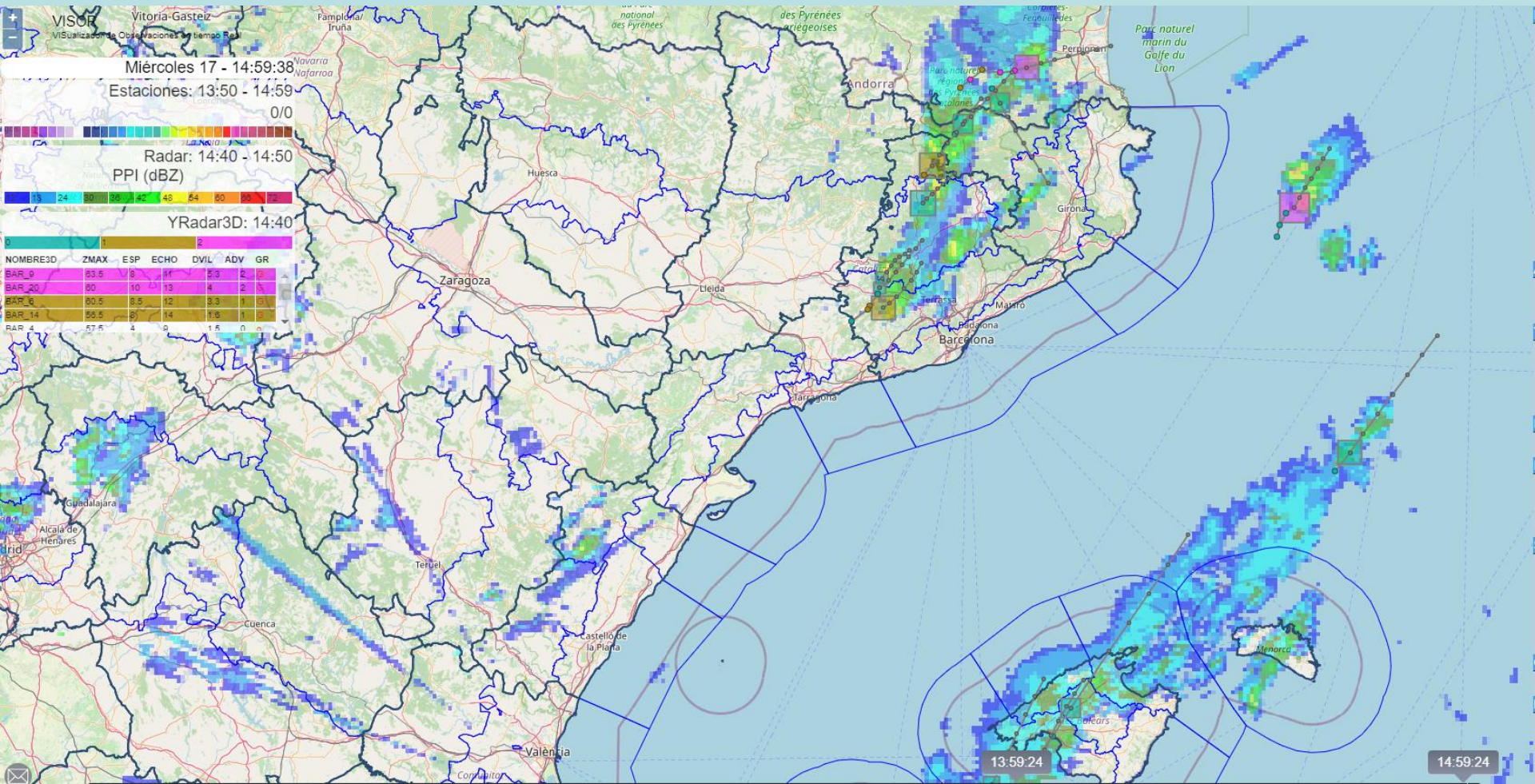
REFLECTIVIDAD (DBZ)



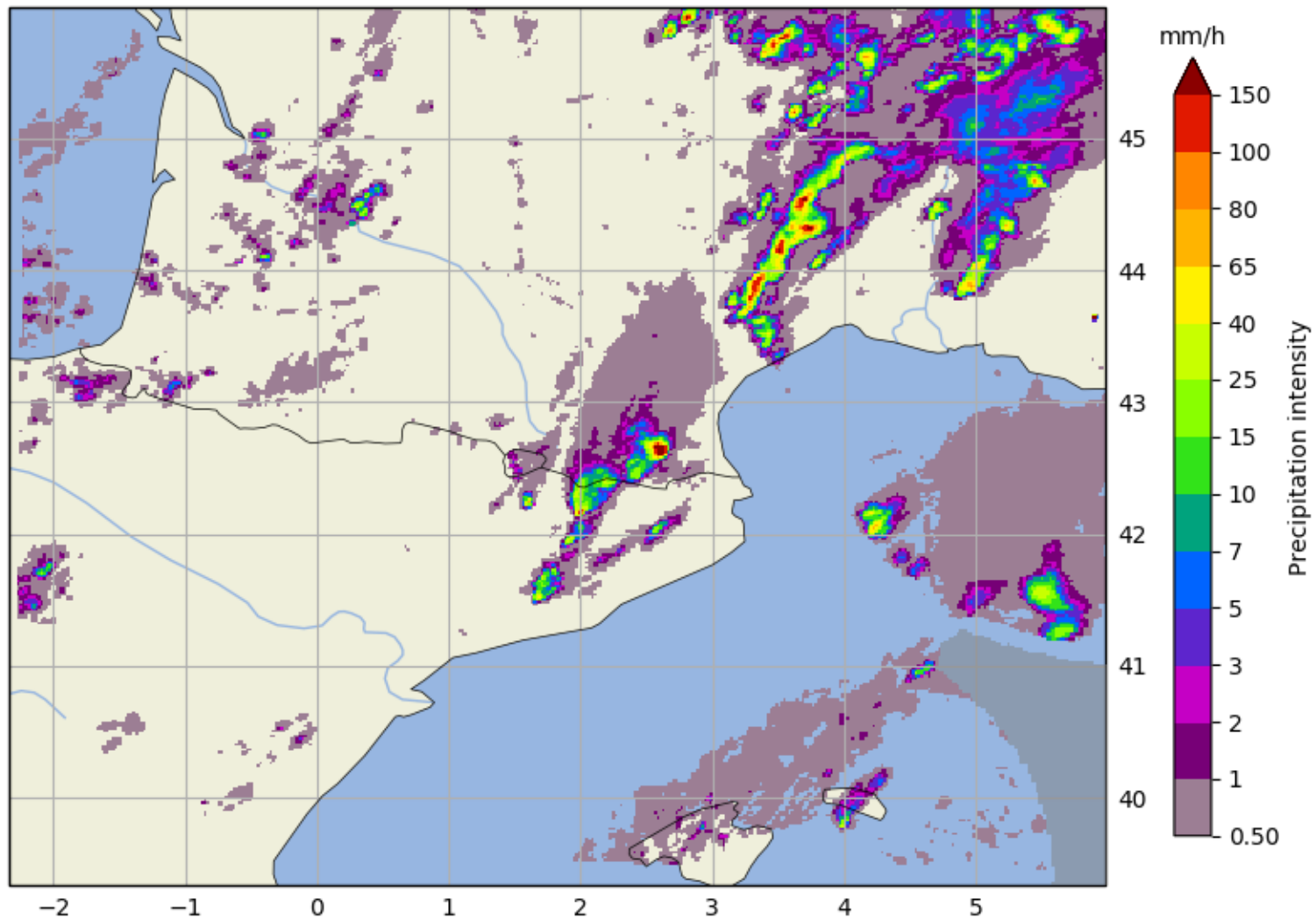




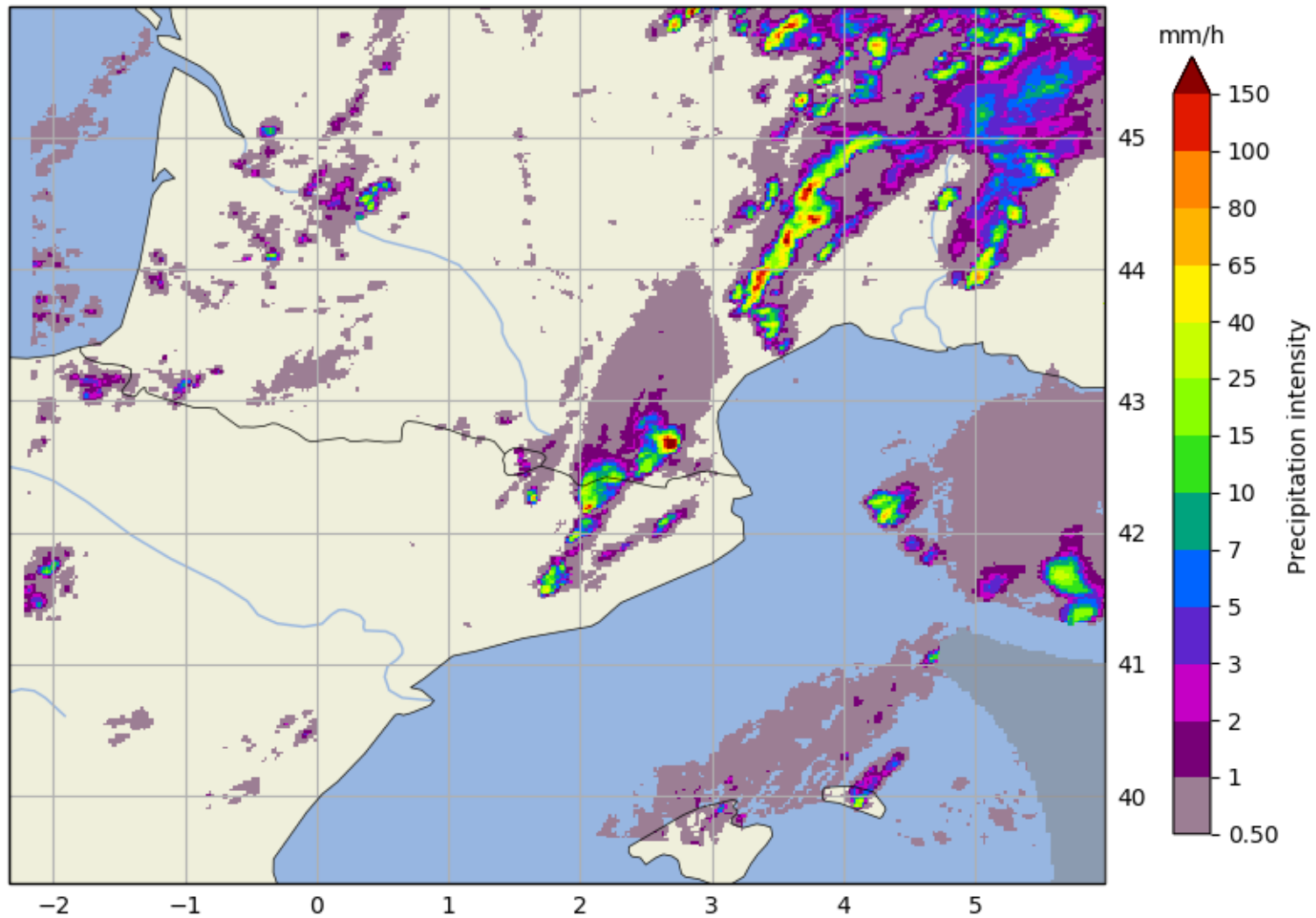




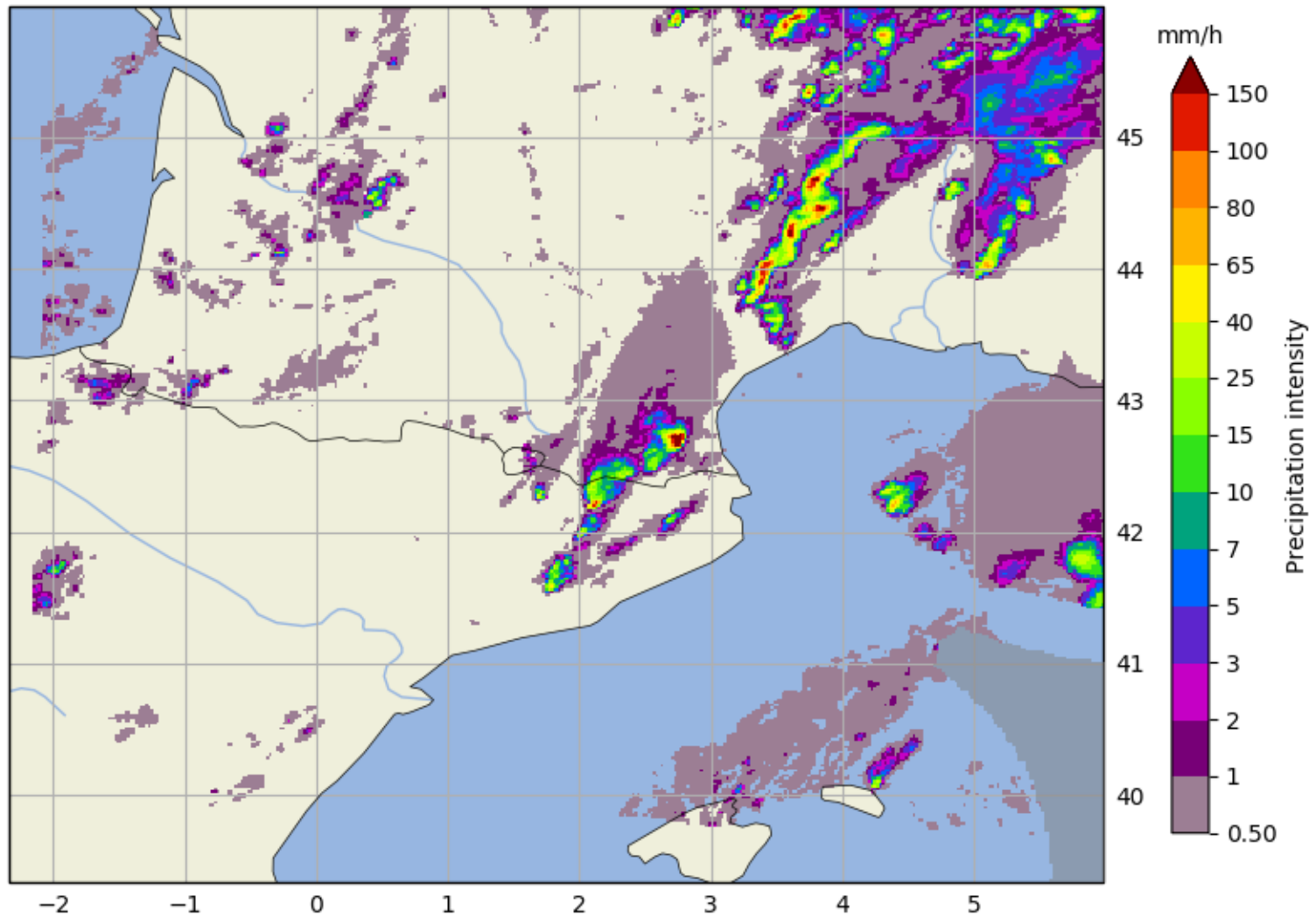
14:45 17-08-2022 LUCAS-KANADE OPTICAL FLOW (+ 000 min)



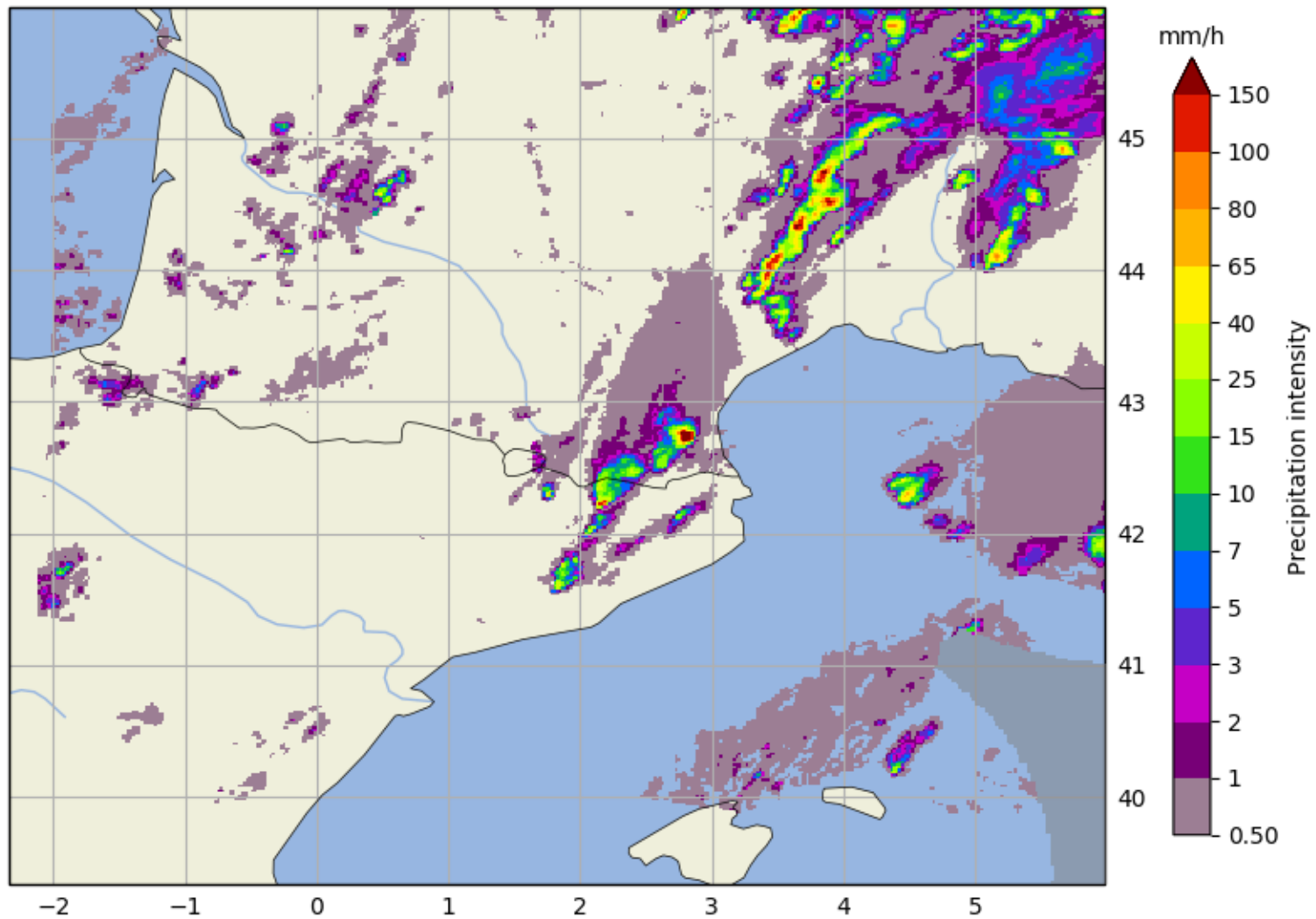
14:45 17-08-2022 LUCAS-KANADE OPTICAL FLOW (+ 015 min)



14:45 17-08-2022 LUCAS-KANADE OPTICAL FLOW (+ 030 min)



14:45 17-08-2022 LUCAS-KANADE OPTICAL FLOW (+ 045 min)



**FIN**



**CURSO PIB-M. FASE PRESENCIAL**  
**Madrid. 2023**

**PRÁCTICAS:**  
**Interpretación operativa de**  
**imágenes radar**

Jesús Riesco Martín  
jriescom@aemet.es

**1.1.- ¿Cuáles de las siguientes variables suelen medirse o ser inferidas a partir de un radar doppler no polarimétrico?**

- a) la posición de la precipitación
- b) el tipo o la fase de la precipitación
- c) la intensidad de la precipitación
- d) el movimiento de la precipitación
- e) la temperatura de la precipitación

**1.2.- ¿Qué tipo de ecos se apreciarán en el radar justo encima de su vertical cuando una tormenta pasa de oeste a este?**

2.1.- ¿Qué producto de entre los siguientes servirá para identificar mejor la intensidad y posición de la precipitación cerca del suelo?

- a) reflectividad del PPI más bajo
- b) velocidad de la primera elevación
- c) reflectividad máxima
- d) ecotop
- d) ninguno de los anteriores

2.2.- Para que un radar meteorológico mida correctamente la reflectividad, ¿cómo deben ser los blancos respecto a la longitud de onda de los pulsos emitidos?

- a) Mucho más pequeños
- b) Mucho más grandes

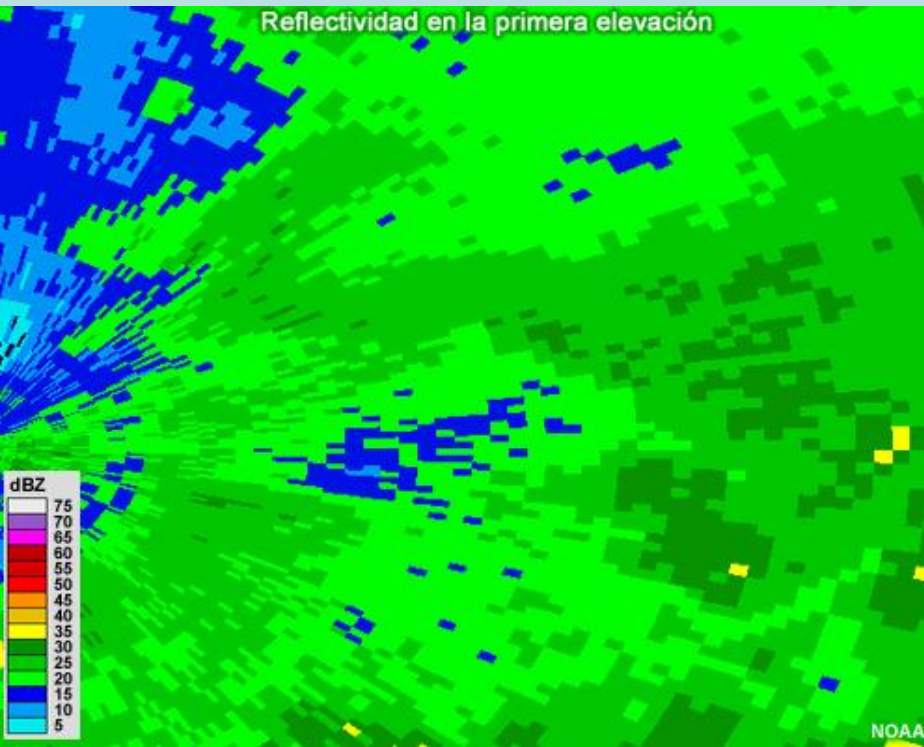
**2.3.- ¿Qué producto de entre los siguientes servirá para identificar mejor el grado de desarrollo vertical de las tormentas?**

- a) reflectividad del PPI más bajo
- b) velocidad de la primera elevación
- c) reflectividad máxima
- d) echotop
- d) ninguno de los anteriores

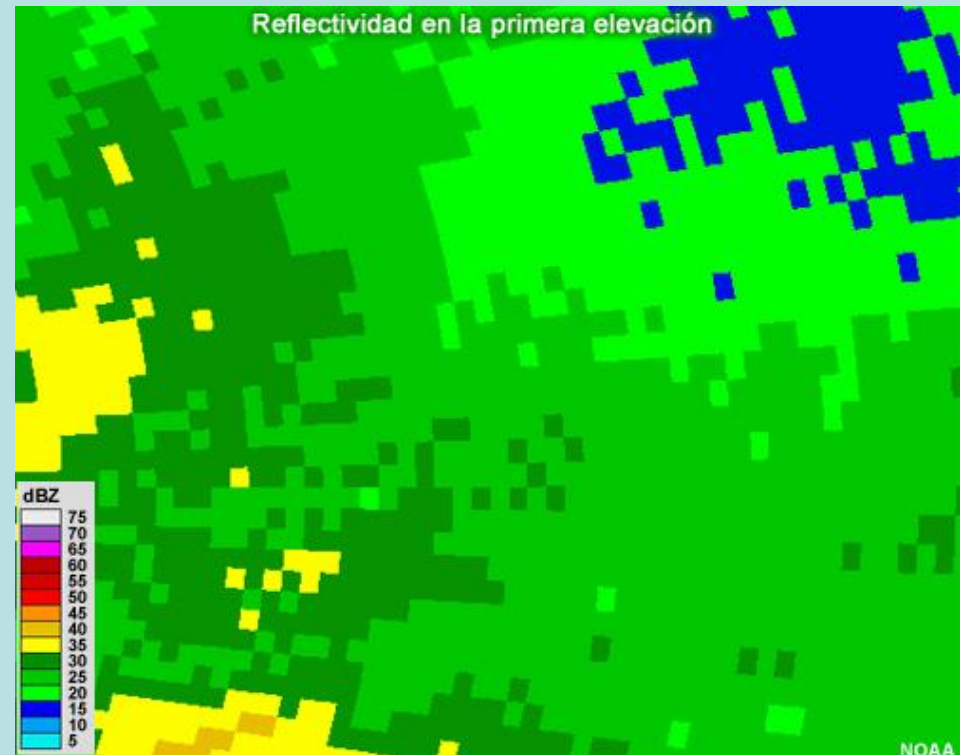
**2.4.- ¿Depende la atenuación de la longitud de onda de la emisión electromagnética del radar?**

**2.5.- ¿Qué tipos de radares meteorológicos hay en función de su longitud de onda y cuál es mejor?**

¿Cuál de estas imágenes de reflectividad en la primera elevación muestra el área más cercana al radar? ¿Por qué?

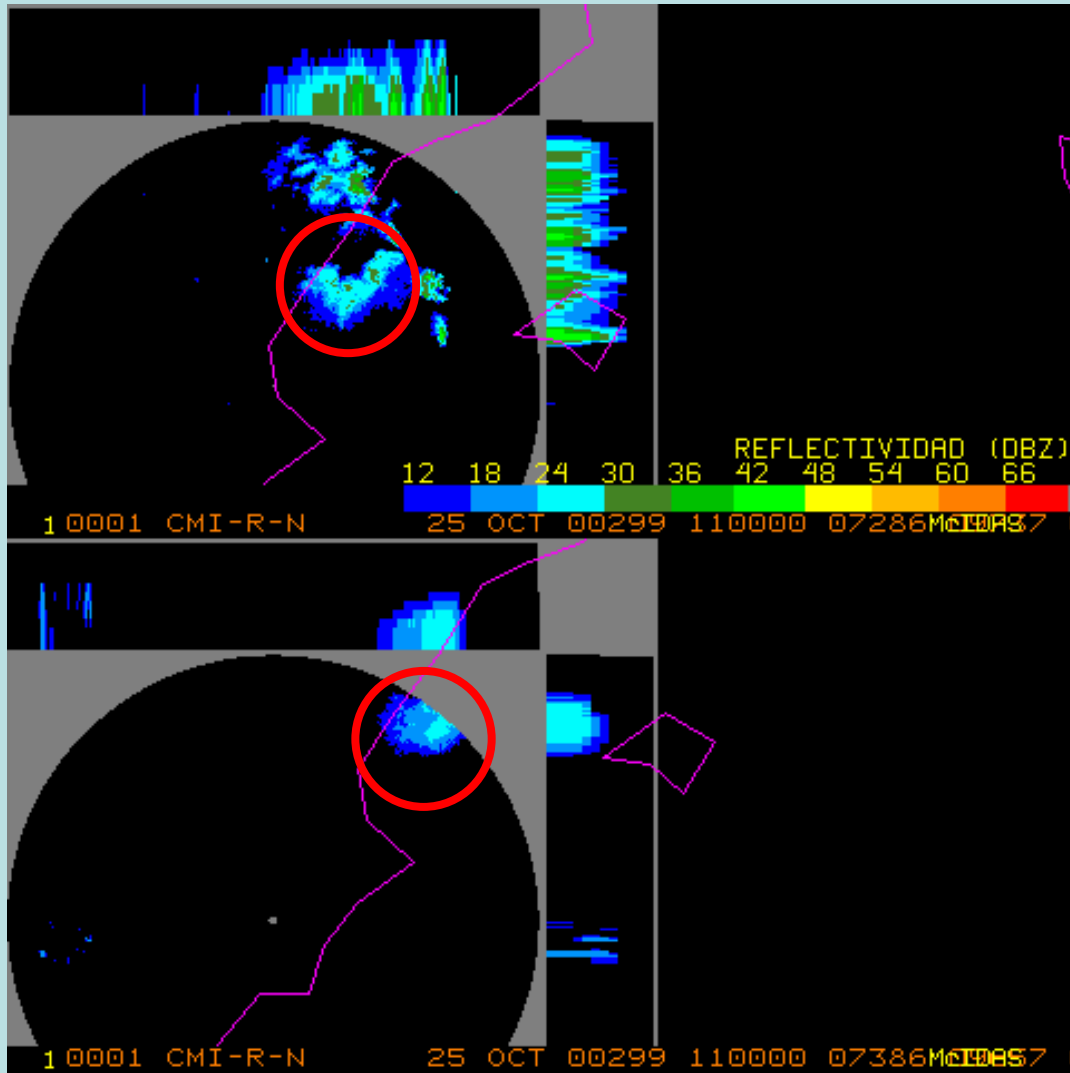


a

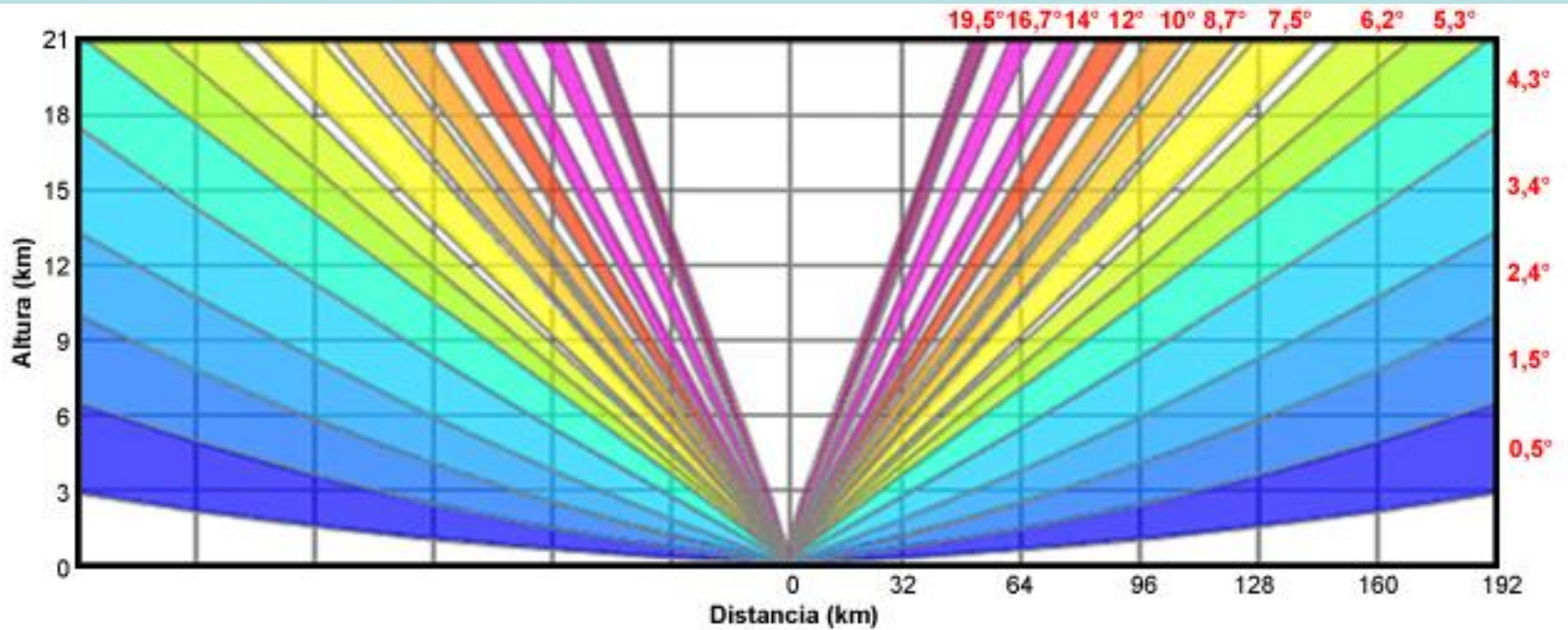


b

¿Cómo se explica que dos radares distintos obtengan valores de reflectividad (ZMAX) diferentes para el mismo lugar y a la misma hora?



5



¿Puedo ver un eco de precipitación a 1 km de altura a 180 km de distancia?

¿Veré la misma reflectividad asociada a un eco idéntico de precipitación, visible en ambos casos, si lo aprecio a 50 km de distancia que si lo aprecio a 150 km de distancia?

Si un radar explora una célula convectiva de gran desarrollo vertical, situada a 100 km de distancia, pero el radar explora primero un frente activo que tiene mucho más cerca de su emplazamiento, en la misma dirección de la tormenta, señalar y justificar la respuesta correcta:

- a) La reflectividad mostrada por el radar en relación a la célula convectiva es **igual** que si no hubiera un frente entre ella y el radar.
- b) La reflectividad mostrada por el radar en relación a la célula convectiva es **mayor** que si no hubiera un frente entre ella y el radar.
- c) La reflectividad mostrada por el radar en relación a la célula convectiva es **menor** que si no hubiera un frente entre ella y el radar.

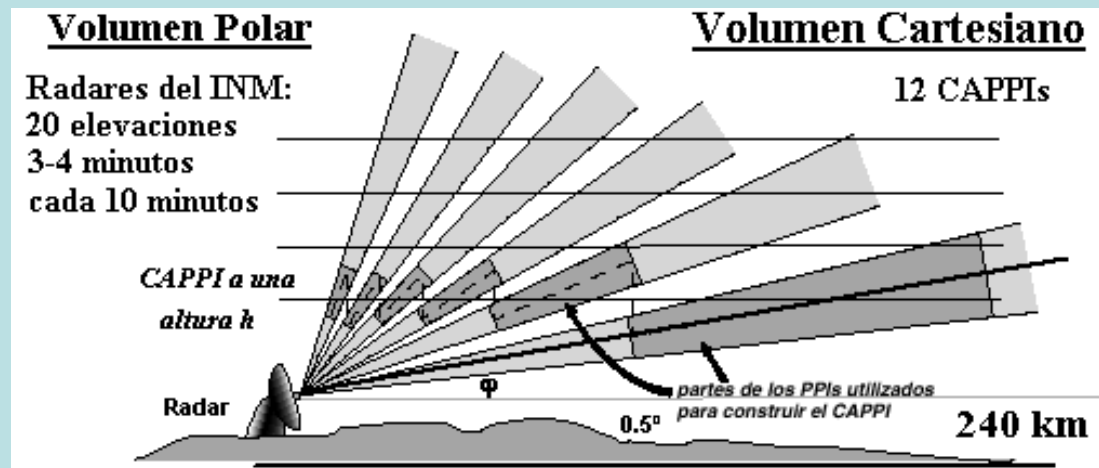


7.a. ¿Teniendo en cuenta la ecuación del radar, producirán la misma reflectividad una gota de agua que un copo de nieve con la misma forma y tamaño?

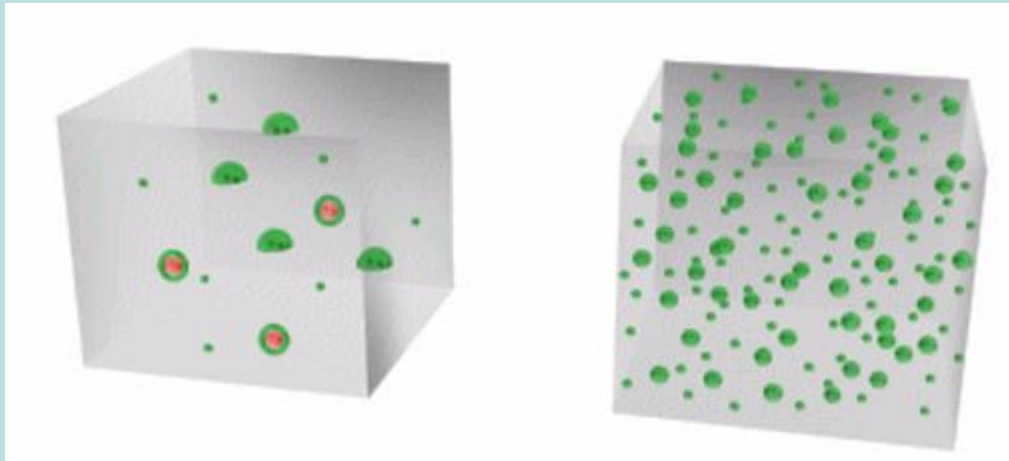
$$\bar{P}_r = C \quad L^2 \quad |K|^2 \frac{Z}{r^2}$$

radar      medio      blanco

## 7-b Diferencias entre un PPI y un CAPPI



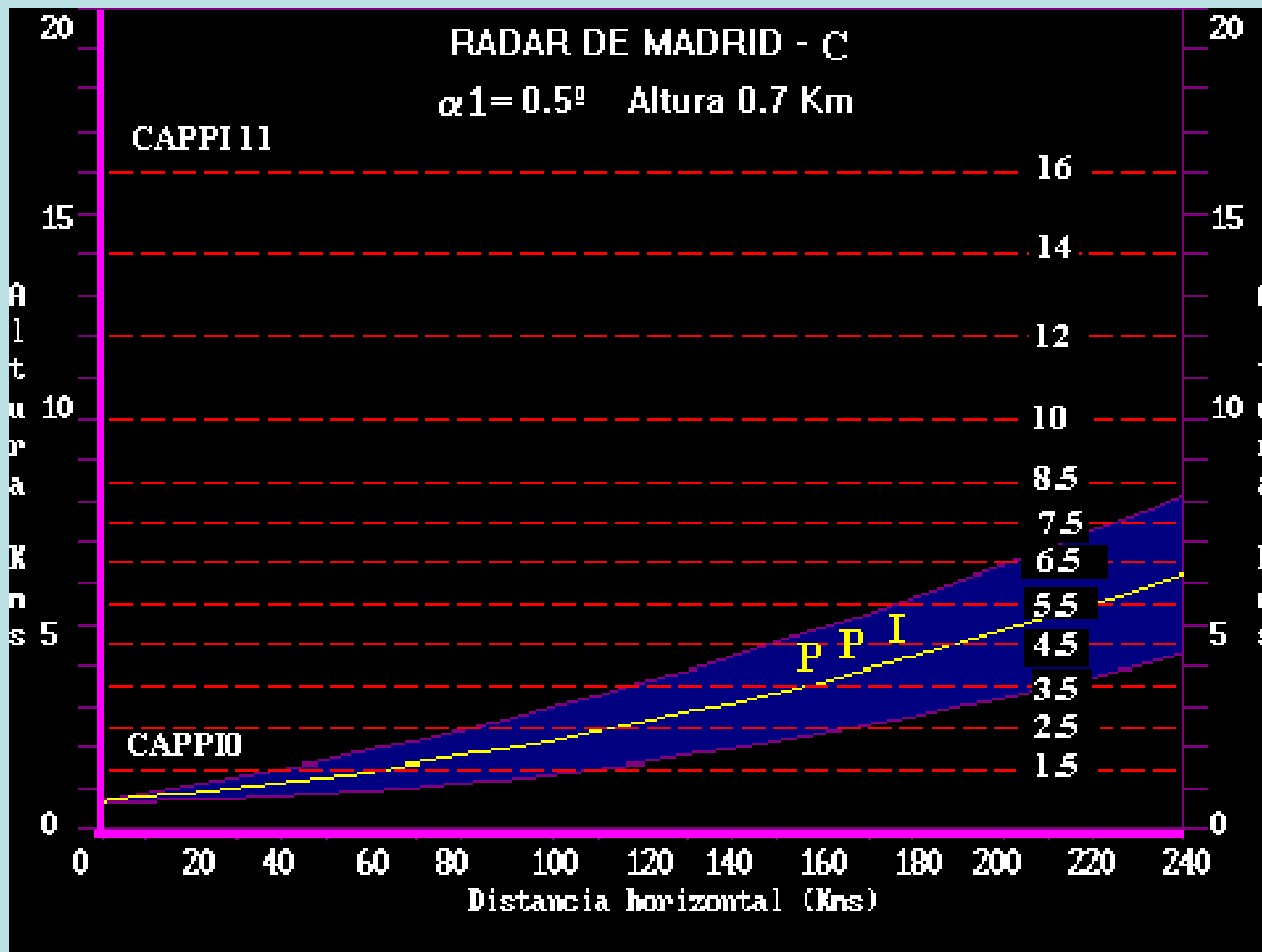
**7-c ¿Dos volúmenes de aire con partículas de precipitación que producen la misma reflectividad producen necesariamente la misma intensidad de precipitación?**



7-d ¿Qué representa el  $Z_{max}$ ?

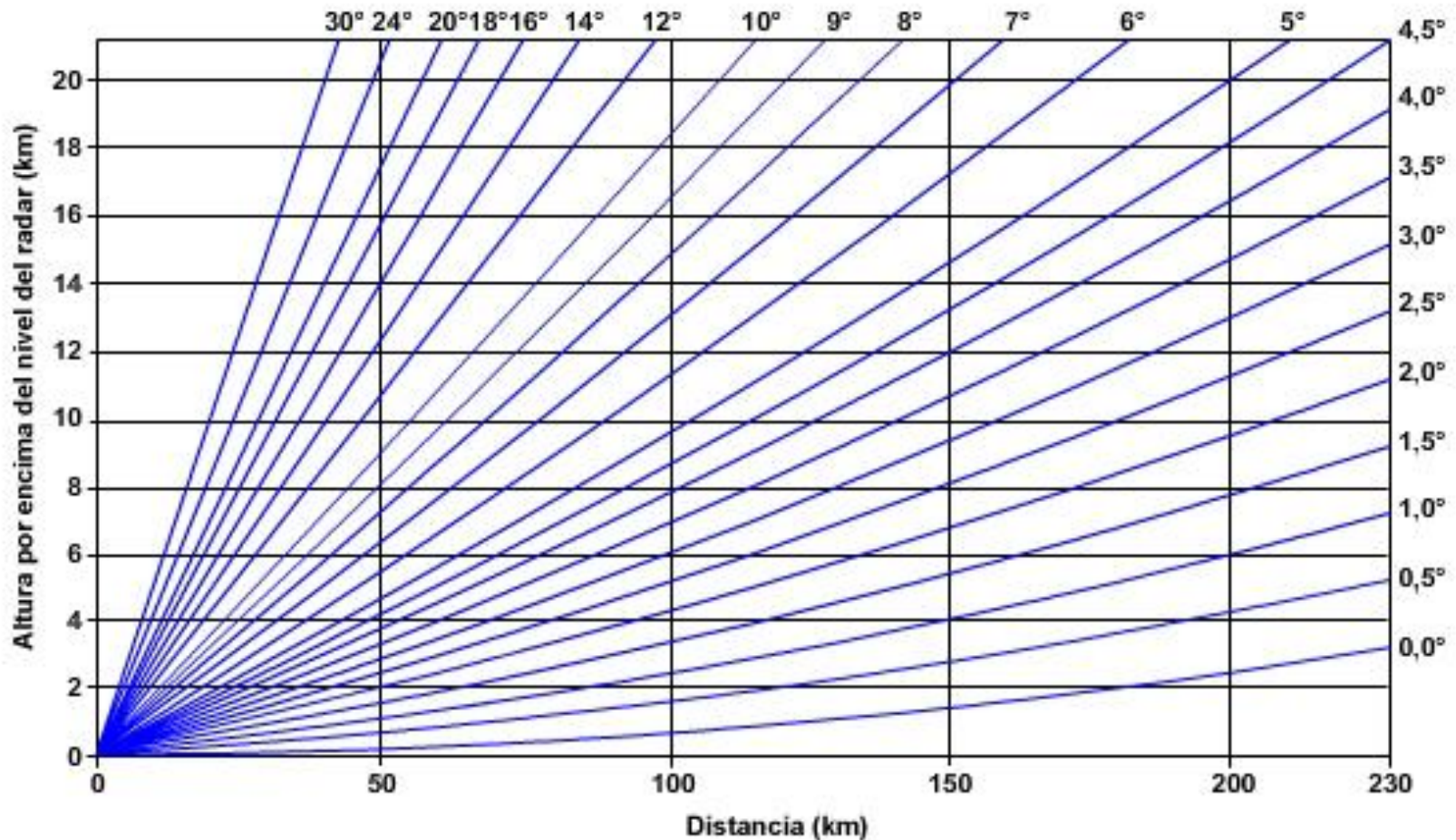
¿Qué representa el Echotop?

# 7-e Decir dos características del haz del radar

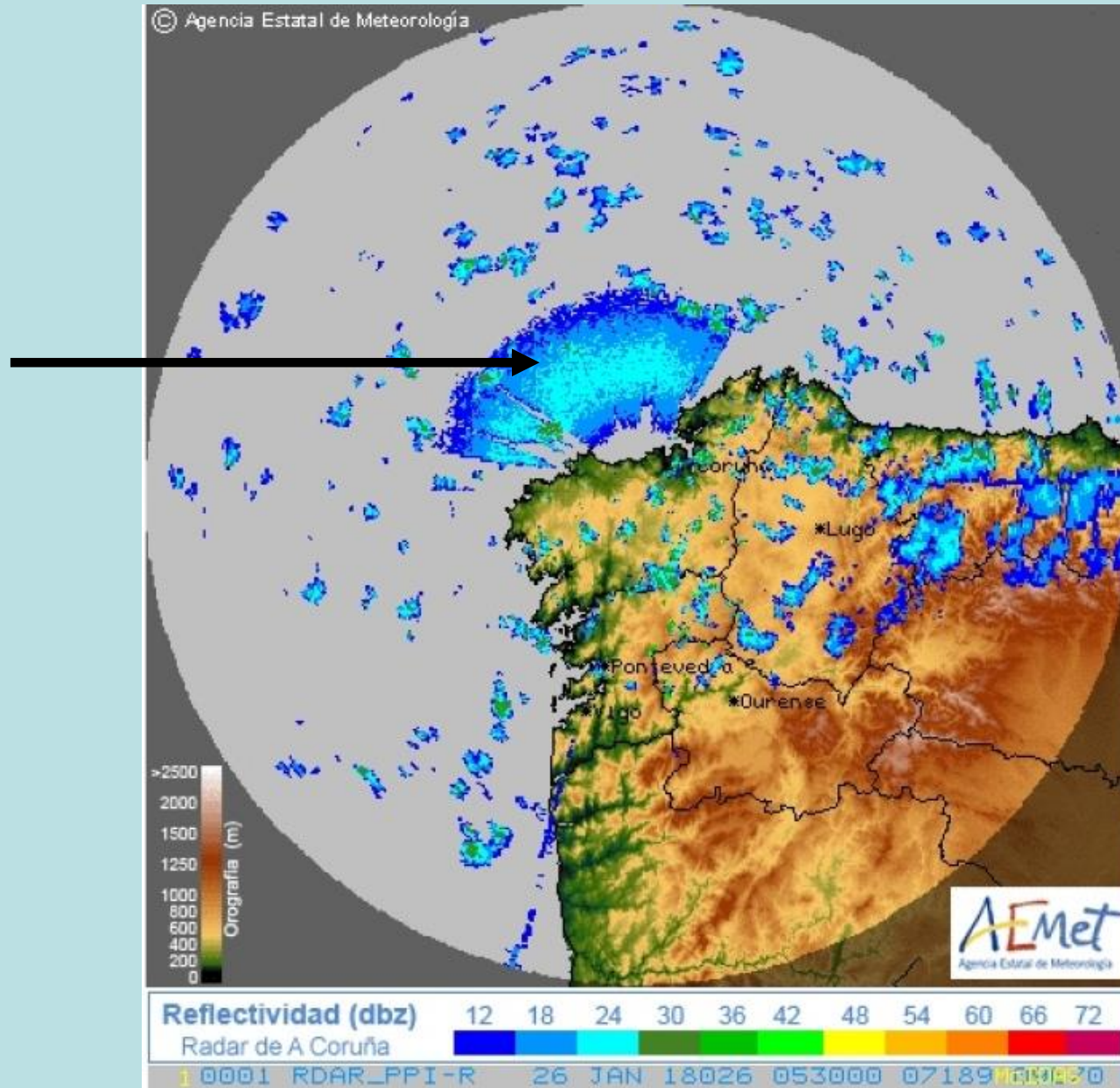


7-f ¿A qué altura sobre el radar se encuentra el haz a 230 km con una elevación de  $0.5^\circ$ ?

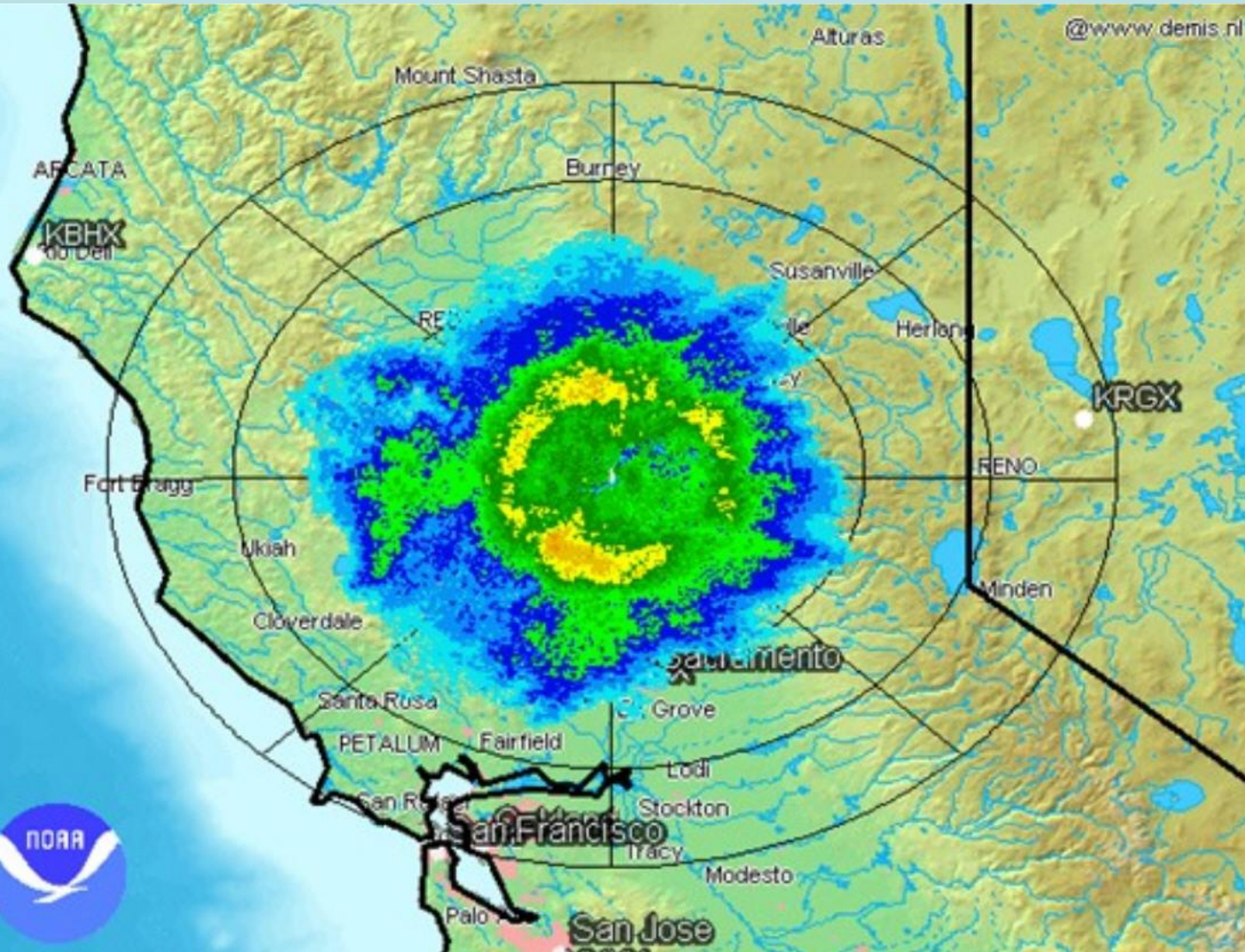
Altura del muestreo por encima del suelo en función de la distancia



# 7-g ¿Qué representa lo marcado en la imagen?



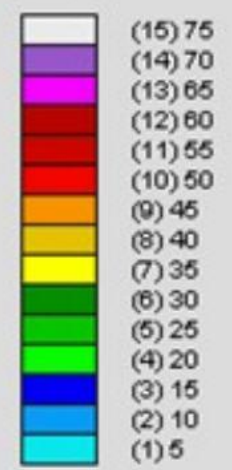
# 7-h ¿Qué puede ser la banda circular de la imagen?



BASE REFLECTIVITY  
KBBX - BEALE AFB, CA  
03/01/2009 14:00:30 GMT  
LAT: 39/29/45 N  
LON: 121/37/55 W  
ELEV: 221.0 FT  
MODE/VCP: A / 12

ELEV ANGLE: 2.40 °  
MAX: 30 dBZ

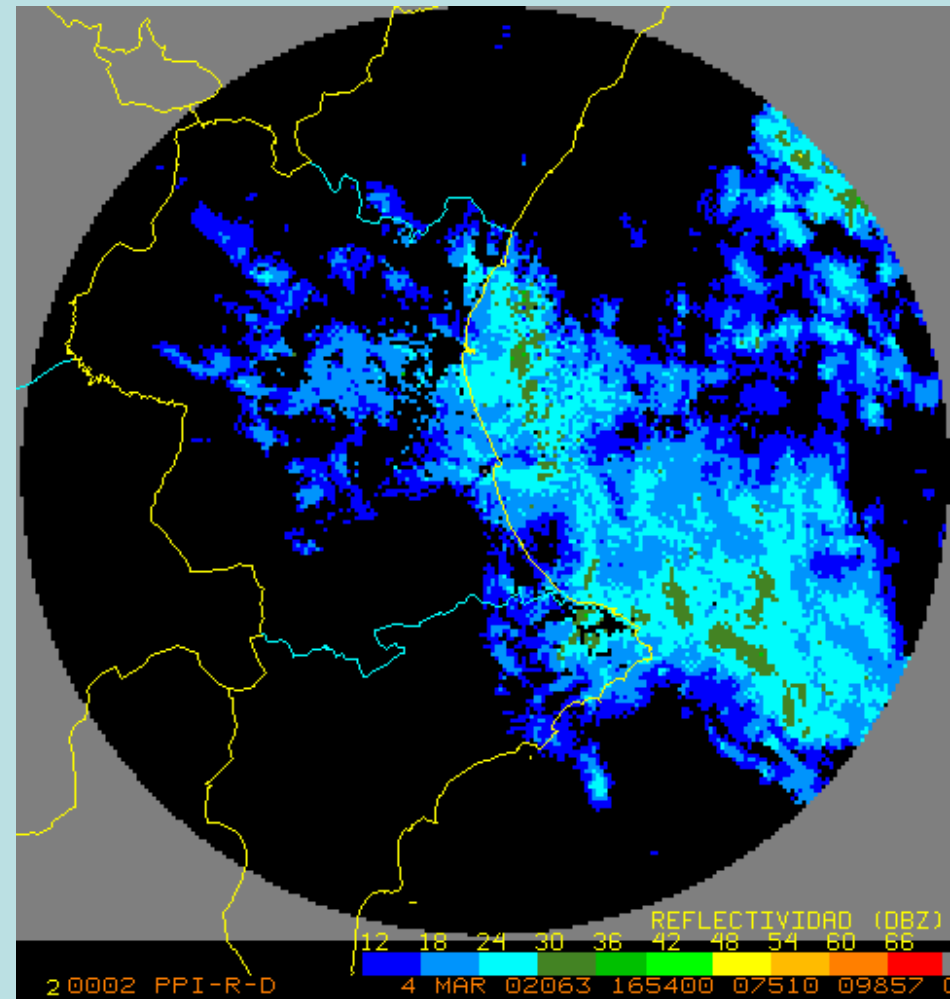
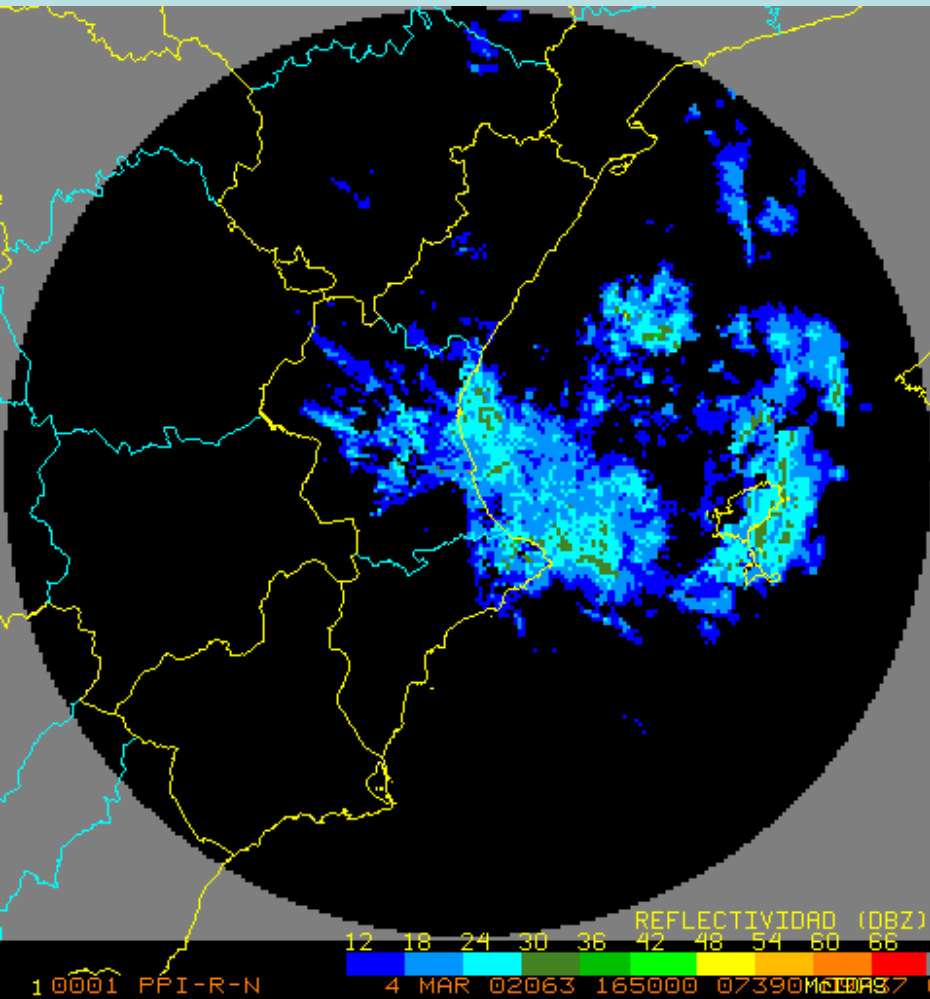
Legend: (Category) dBZ





¿En cuáles de estas situaciones pasaría completamente desapercibida la precipitación debido a la geometría del haz del radar?

- a) Una tormenta de gran desarrollo vertical que produce lluvia muy cerca del radar.
- b) Una tormenta de gran desarrollo vertical que produce lluvia a unos 50 km de distancia del radar.
- c) Una nube estratiforme de tope bajo que produce lluvia cerca de la distancia máxima del alcance operativo del radar.
- d) Una tormenta que produce lluvia detrás de una montaña a 10 km de distancia del radar



¿Se encuentra alguna diferencia entre los productos de largo y corto alcance del PPI más bajo?

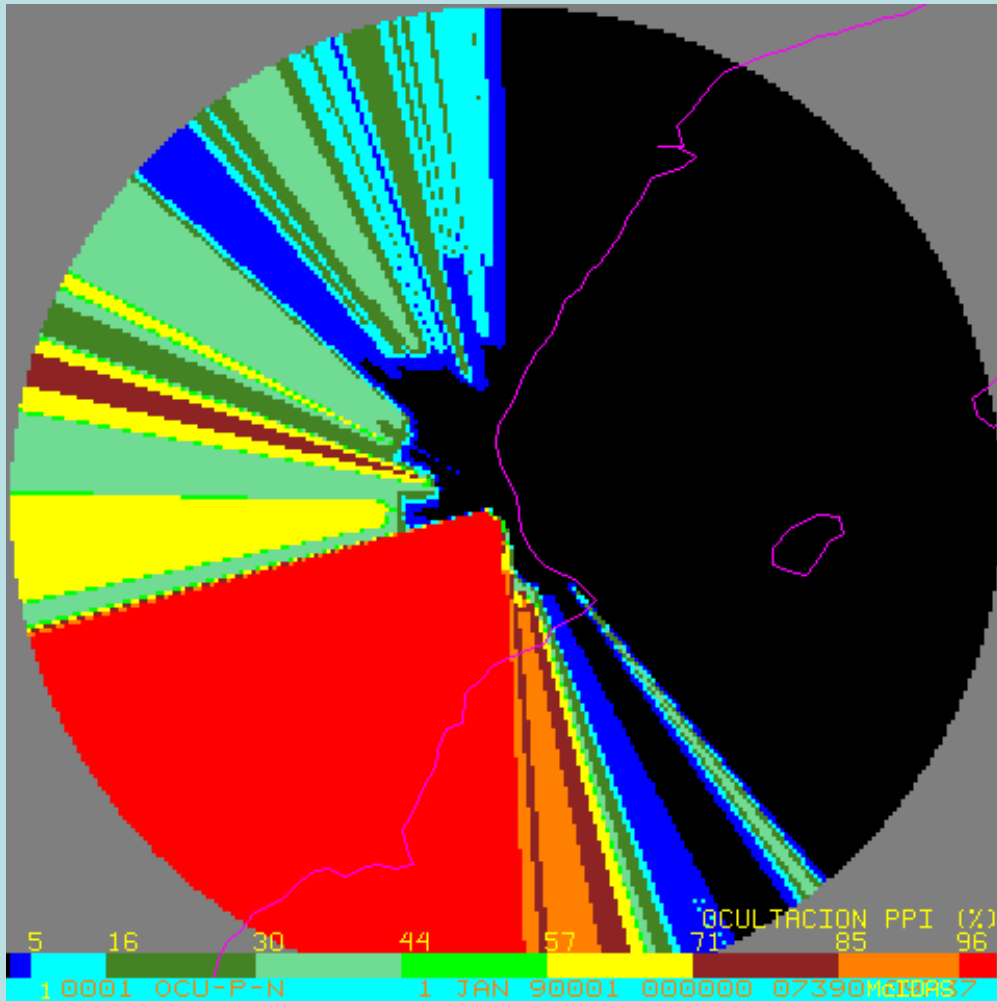
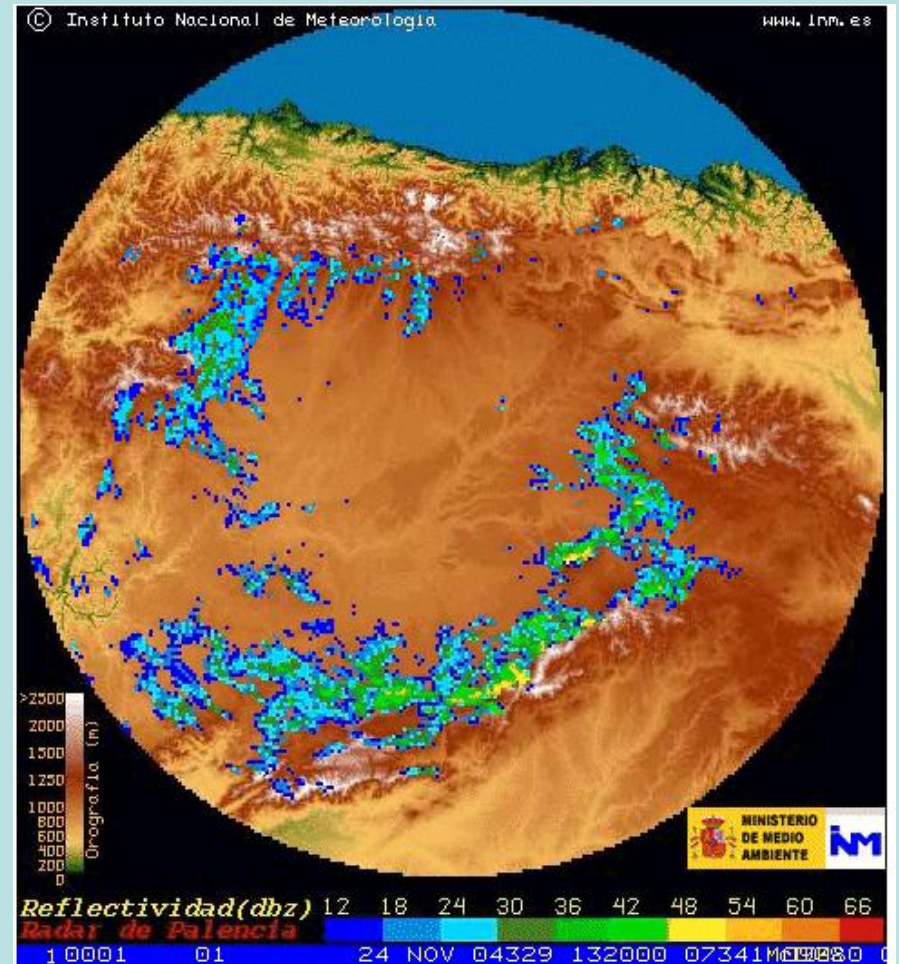
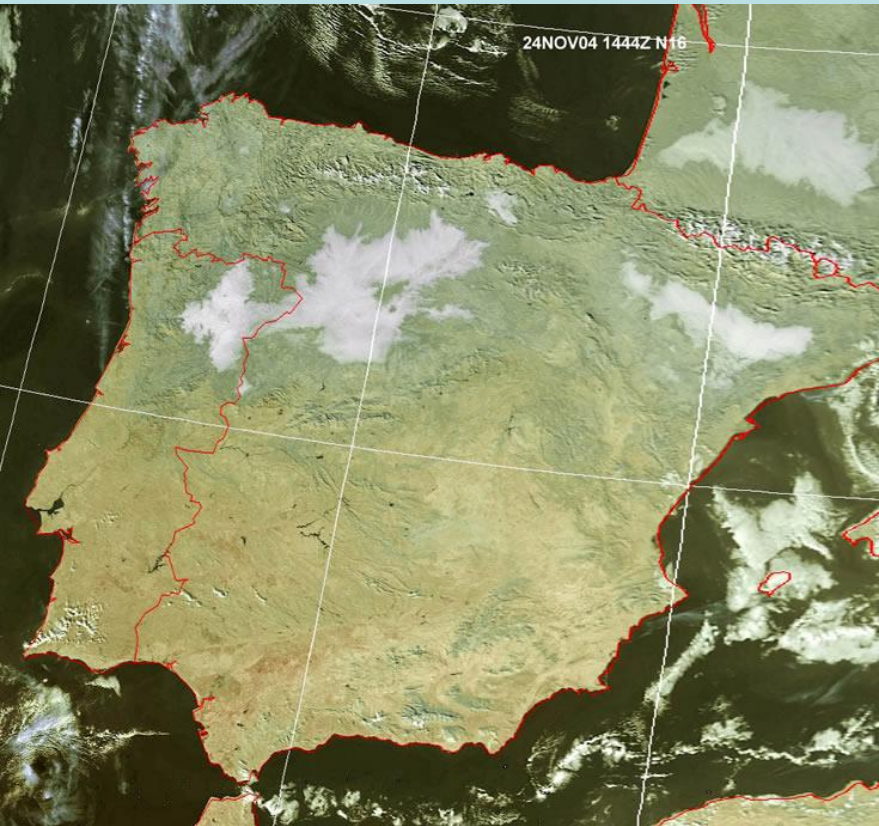


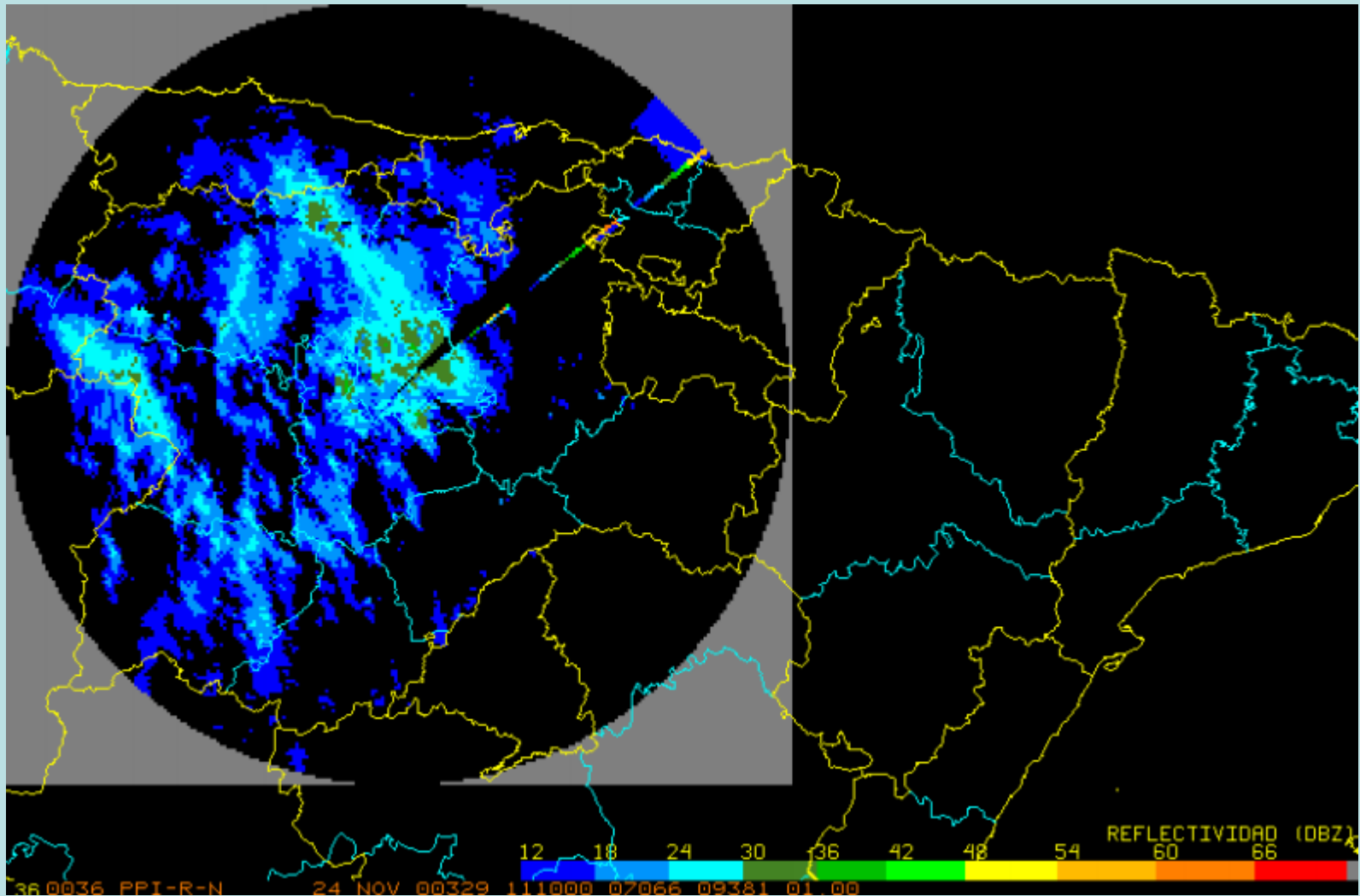
Imagen de ocultación (%)  
del PPI más bajo del radar  
de Valencia

Teniendo en cuenta la imagen anterior y otros posibles productos radar:

- ¿Qué se supone que puede haber físicamente en la zona roja?
- ¿Podré con el sistema radar detectar alguna tormenta en la zona roja?



Teniendo en cuenta la imagen satelital con nieblas en el entorno del radar: ¿Qué tipo de ecos está mostrando el producto PPI de reflectividad?

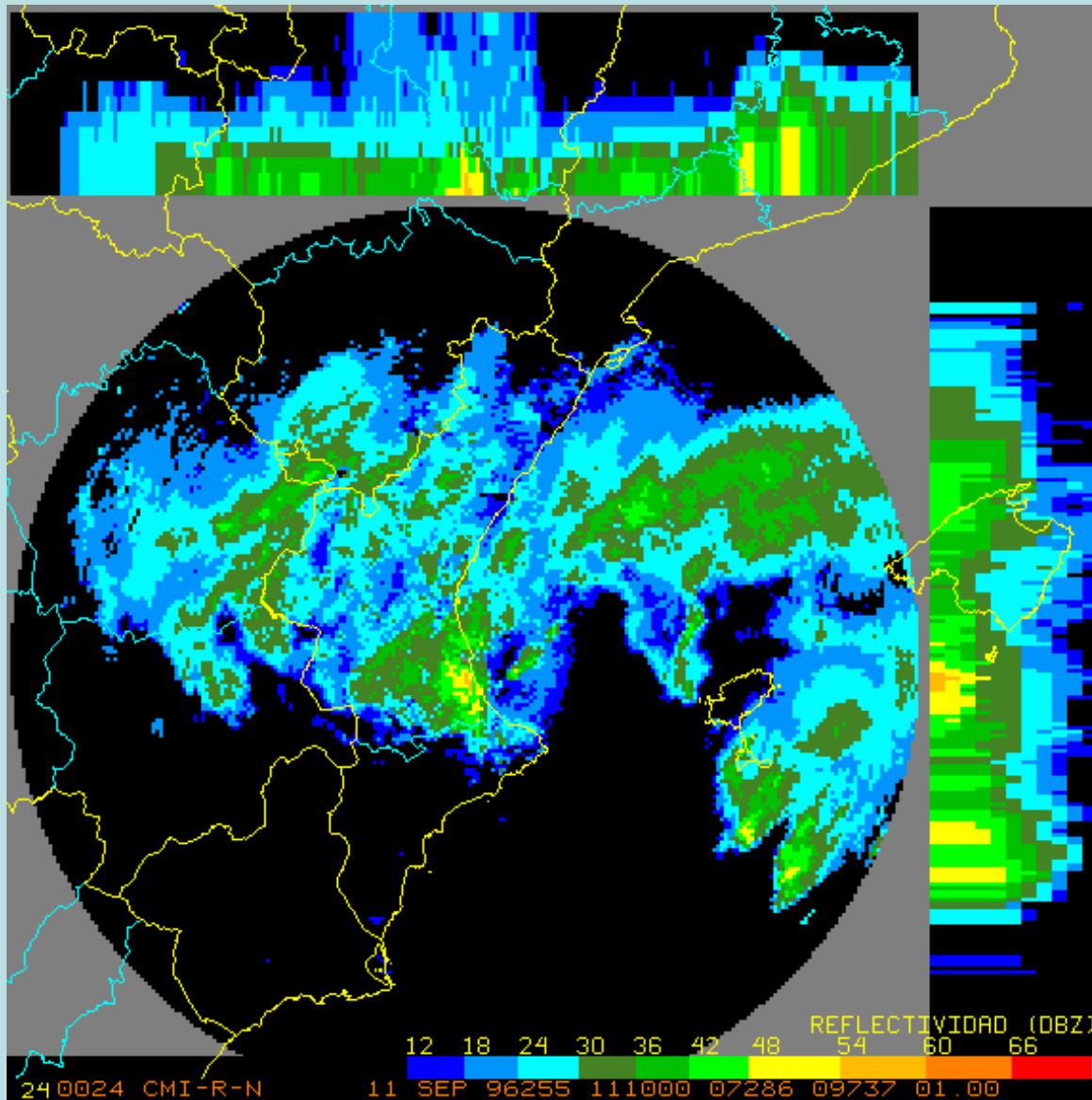


¿Qué observas raro en la imagen del PPI de ese radar?

## ¿VERDADERO o FALSO (S/N)?

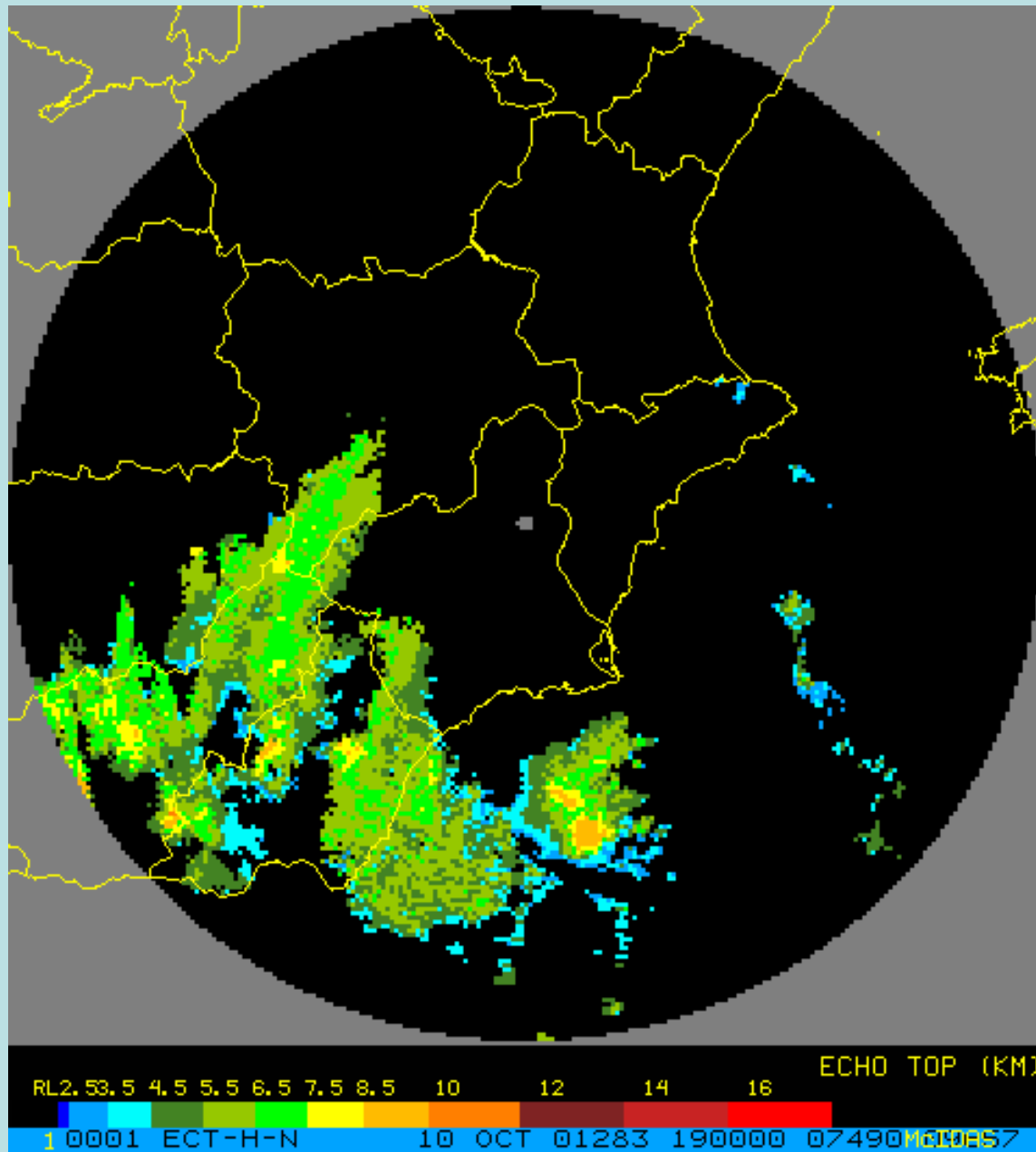
- ¿Puede ser el Ecotop mayor que la altura del máximo de reflectividad? S/N
- ¿Puede haber casos en que se vea un eco radar con  $Z_{max}$  de gran valor y con un Ecotop bajo? S/N.
- ¿Puede servir el VIL para indicar la peligrosidad de las precipitaciones? S/N
- ¿Es fiable el valor del VIL a grandes distancias del radar?
- ¿Son fiables siempre las relaciones  $Z/R$ ? S/N

Elegir Sí/No, con justificación de la respuesta



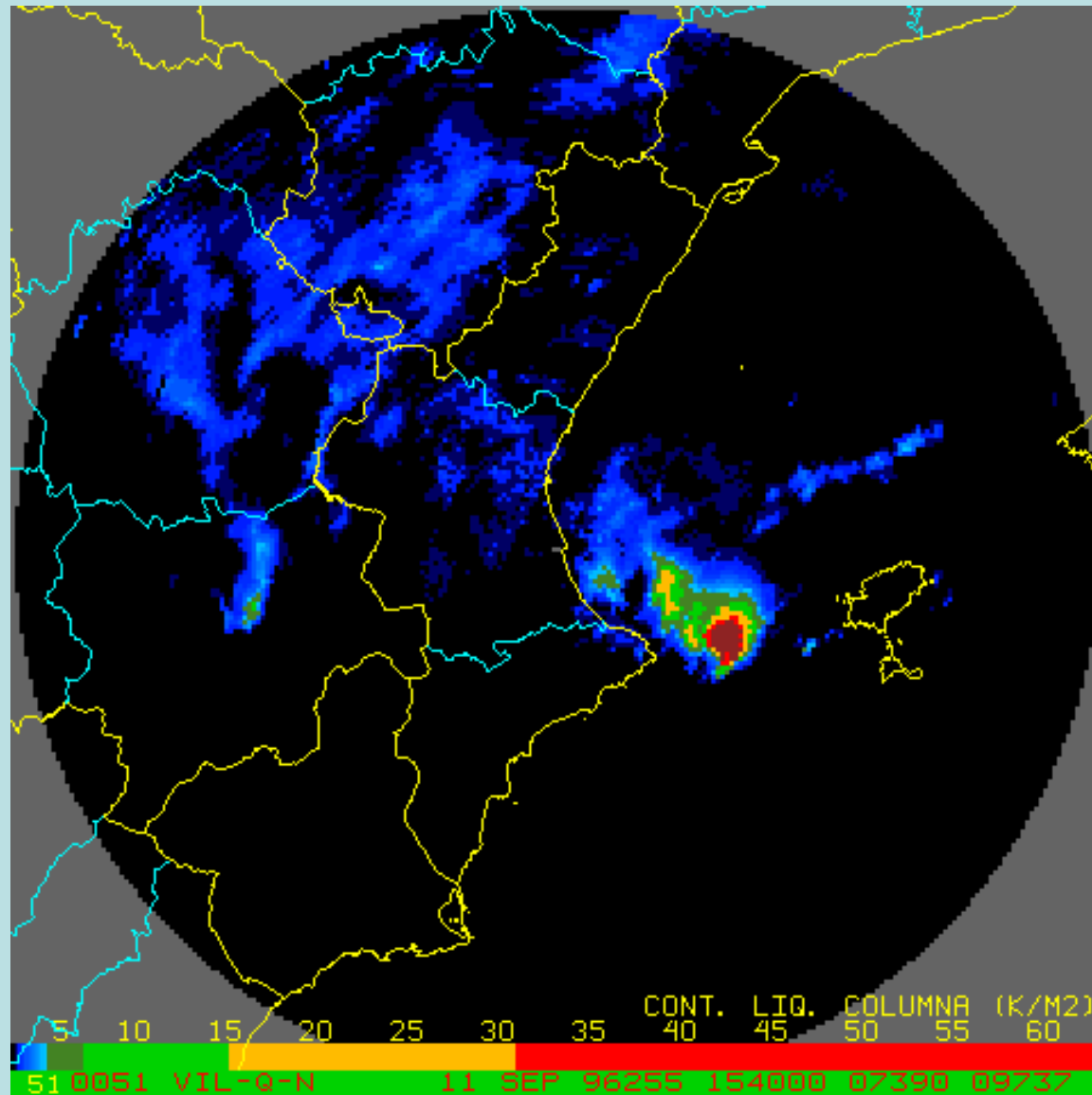
Distinguir distintos tipos de ecos en la imagen de reflectividad máxima

15

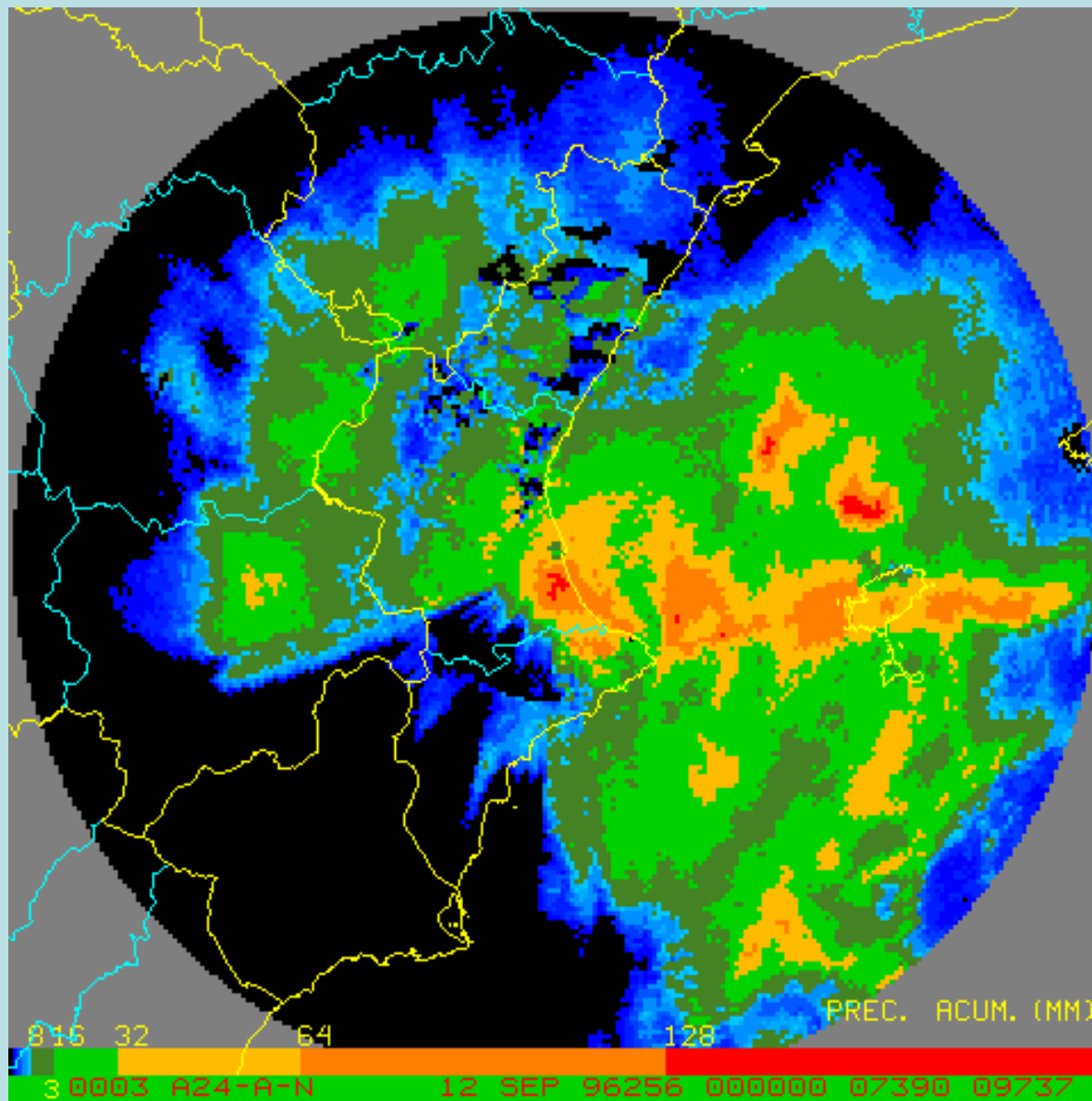


¿Para qué sirve operativamente el Echo Top?

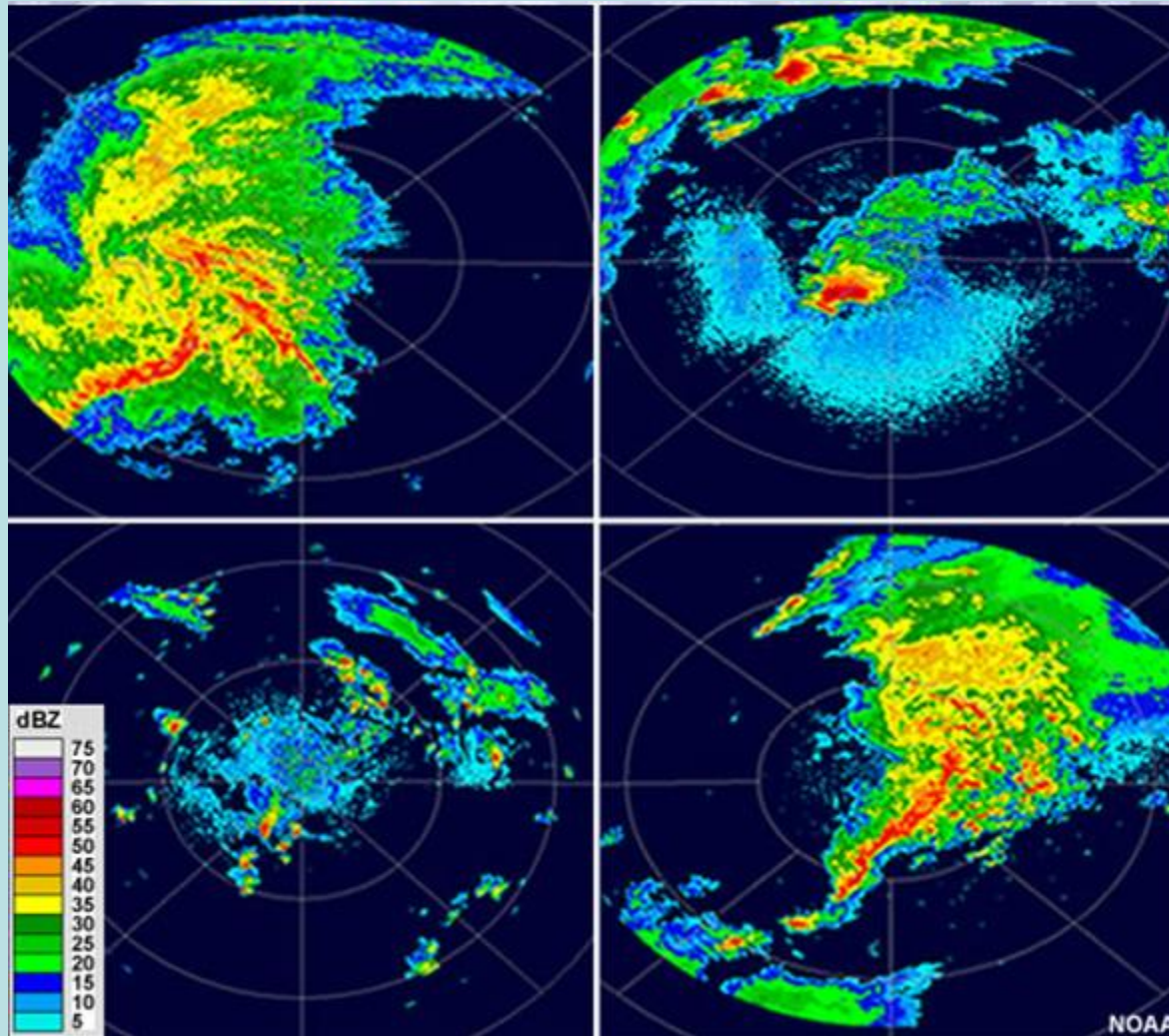




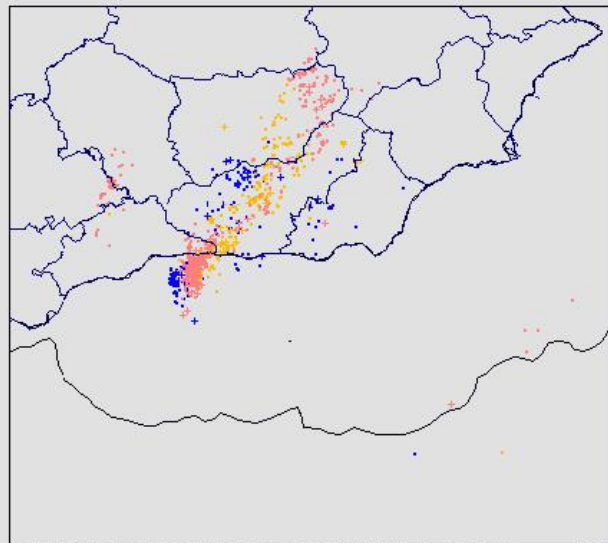
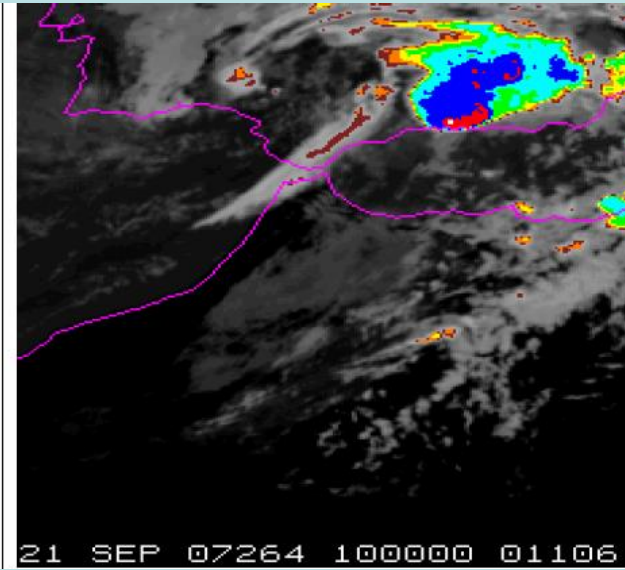
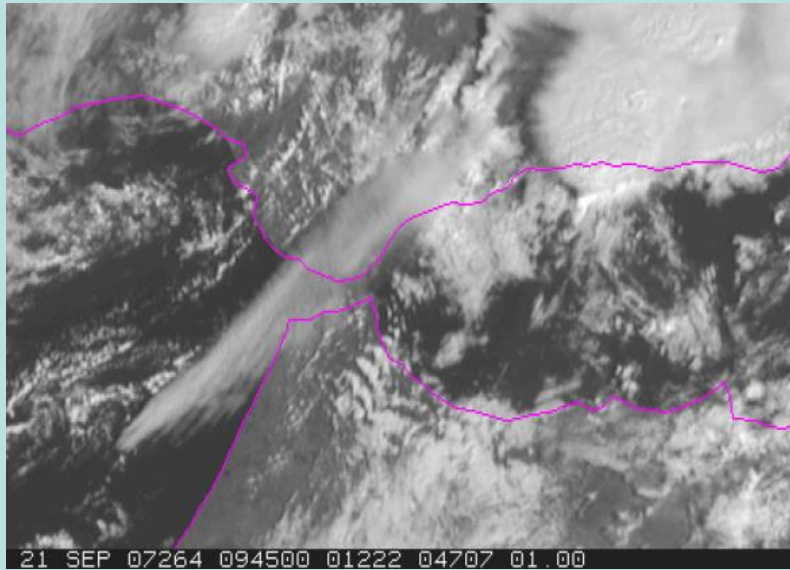
¿Qué nos indica aproximadamente el VIL?



**Analizar la posible validez de la precipitación acumulada a partir del radar...**

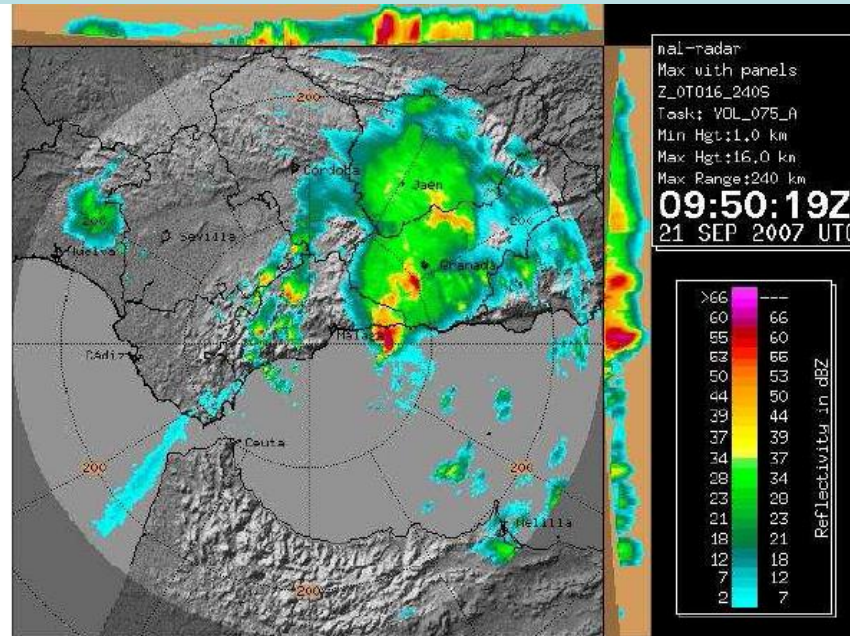


Identificar convección ordinaria, SCMs y supercélula...

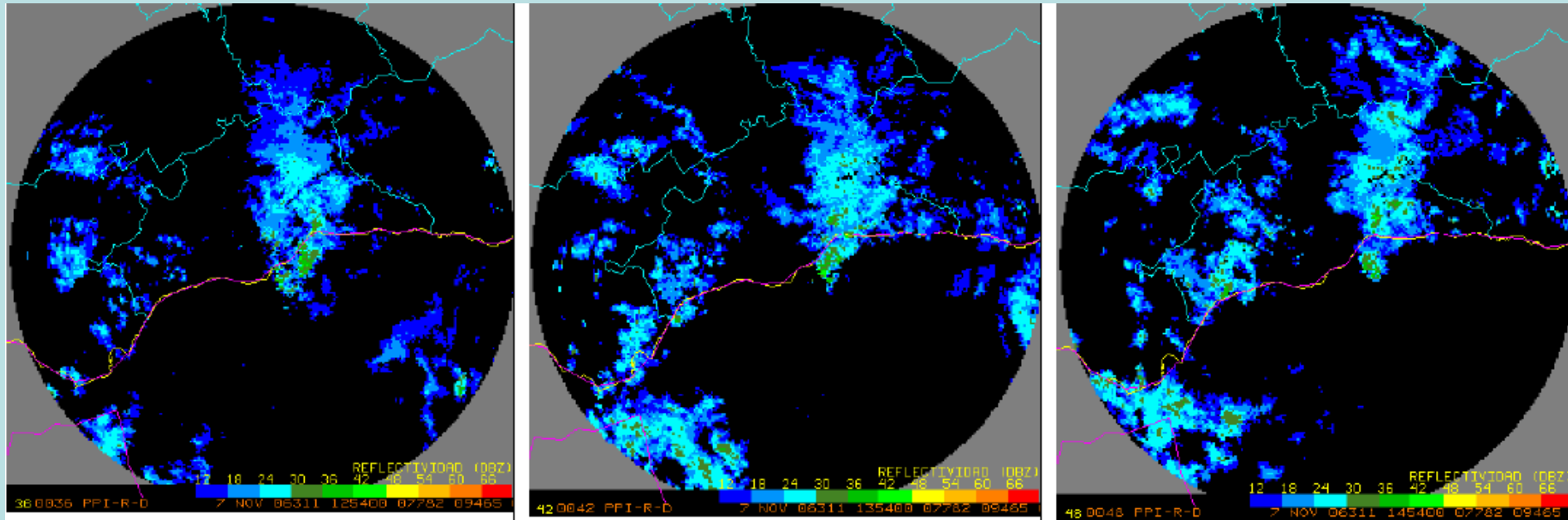


RAYOS:FLA6 ) PERIOD0=21/SEP 09:00:00 AL 21/SEP 11:59:59 T.raque=1054  
 T (hh:mm:ss)= <09:59:59<10:59:59<11:59:57  
 RAYOS-(94)= 17 33 44  
 RAYOS-(959)= 167 209 583

21 Sep 2007  
 McIDAS

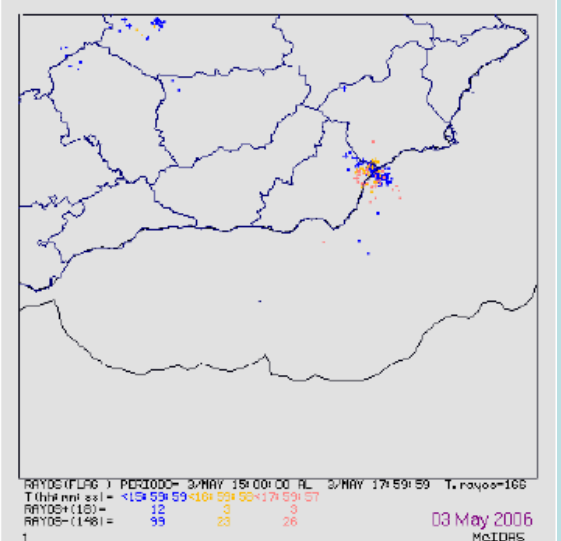
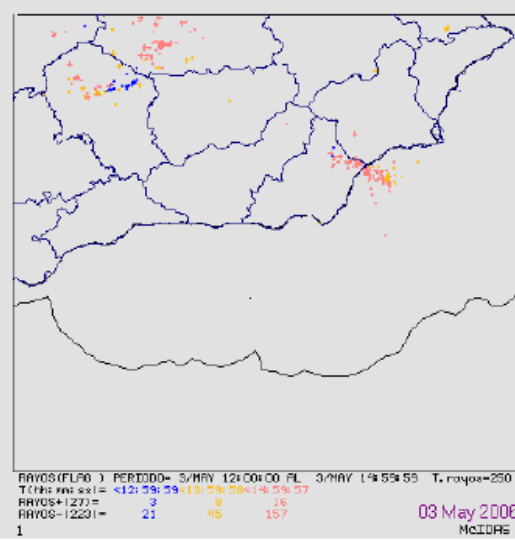
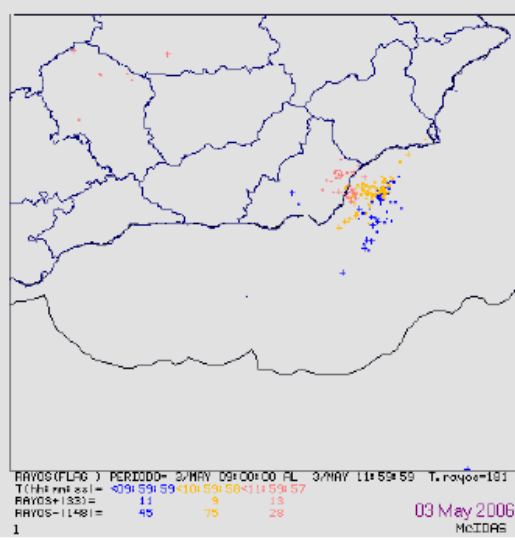
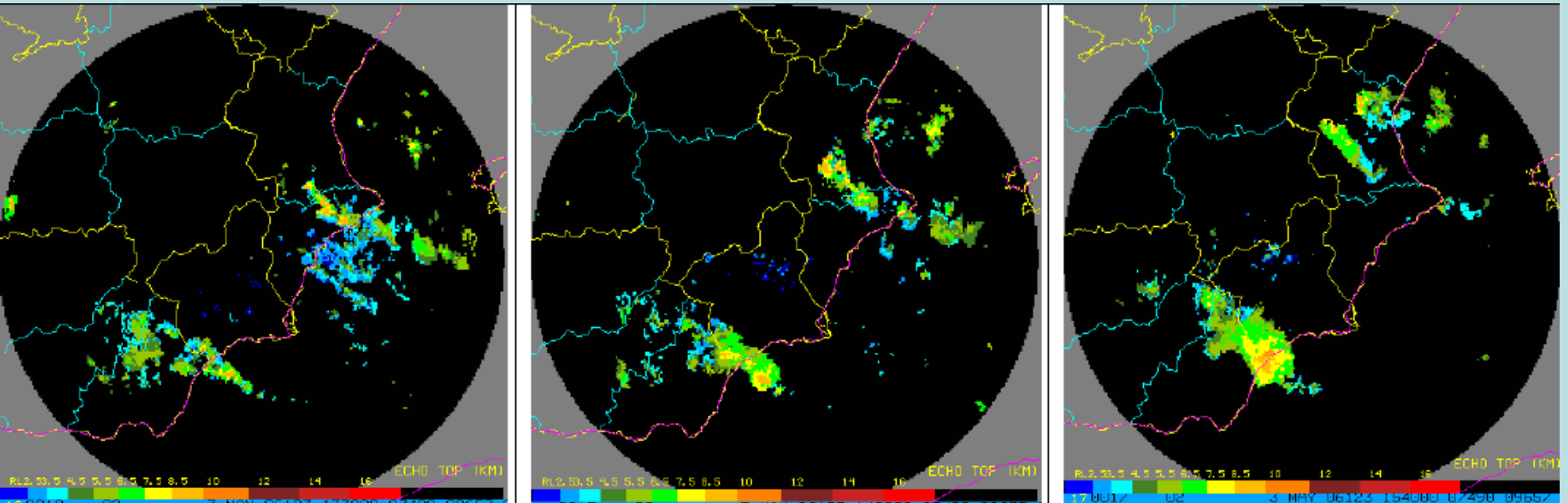


Diagnóstico de la estructura convectiva y la peligrosidad...

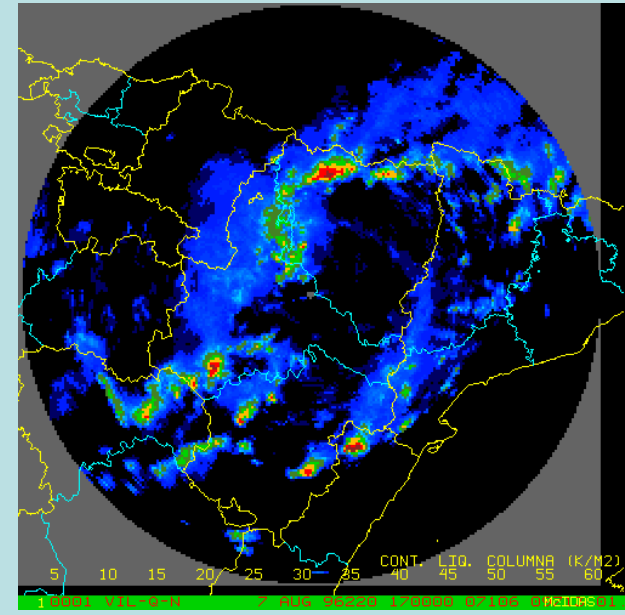
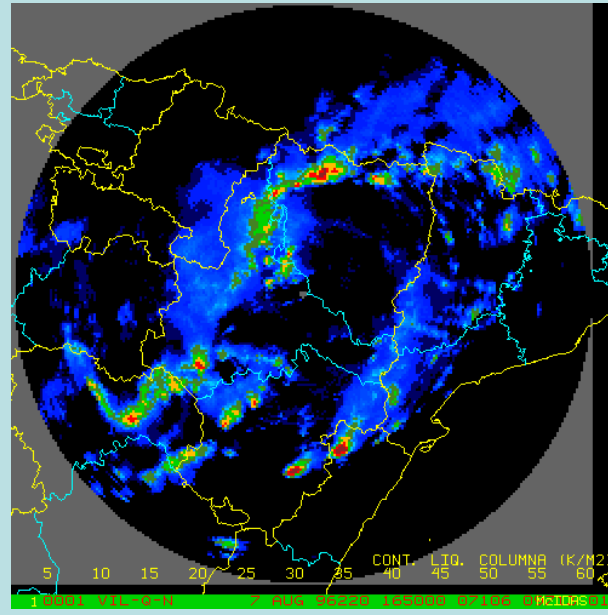
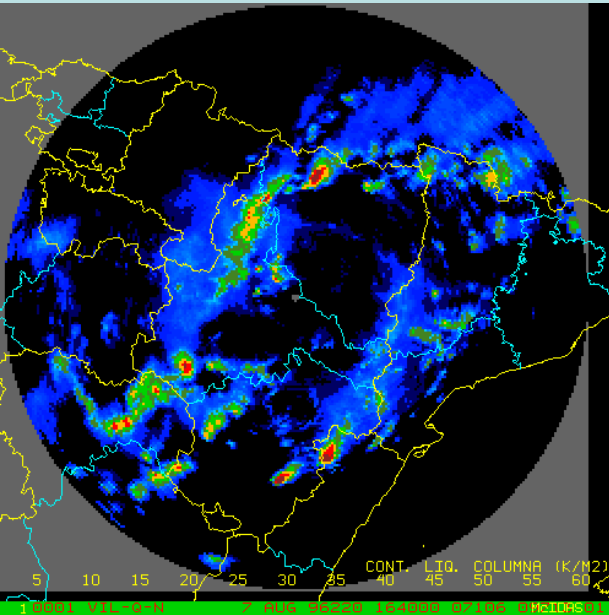
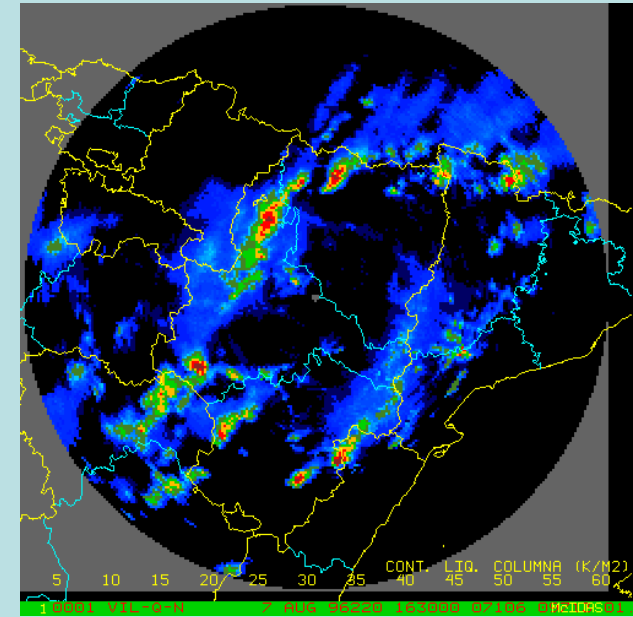
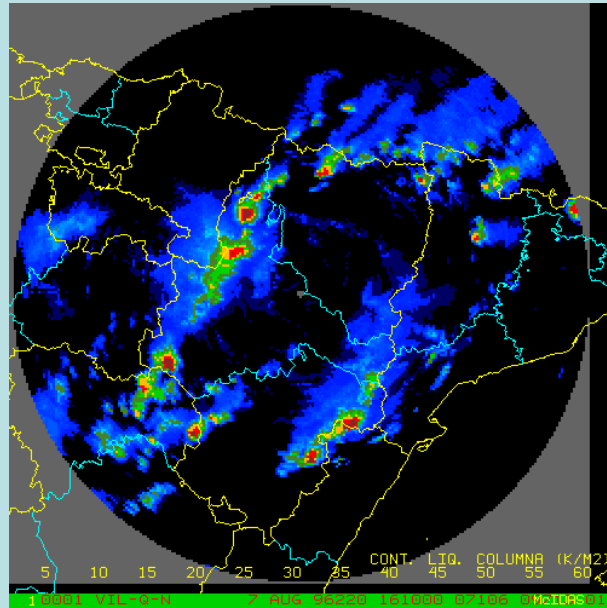
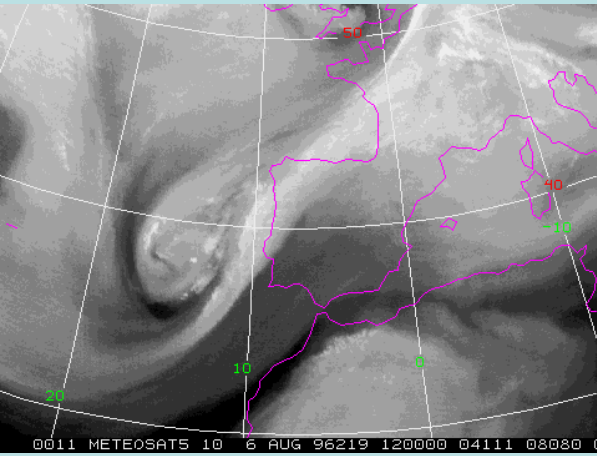


PPI de imágenes temporalmente consecutivas (cada 10')

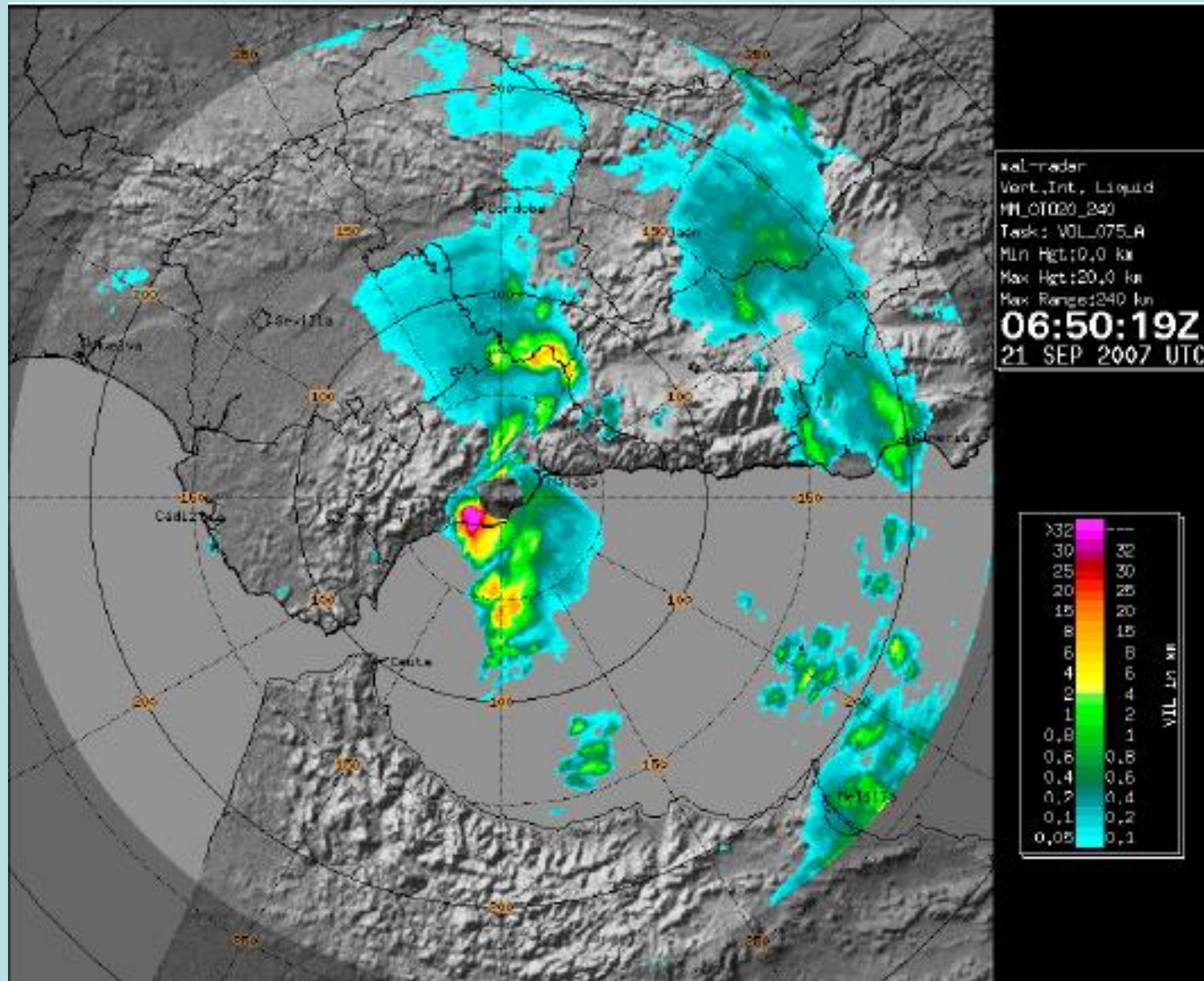
**¿Se identifica posible peligrosidad en la situación?**



**Echotop + rayos ¿Qué tipo de sistema convectivo se aprecia?**

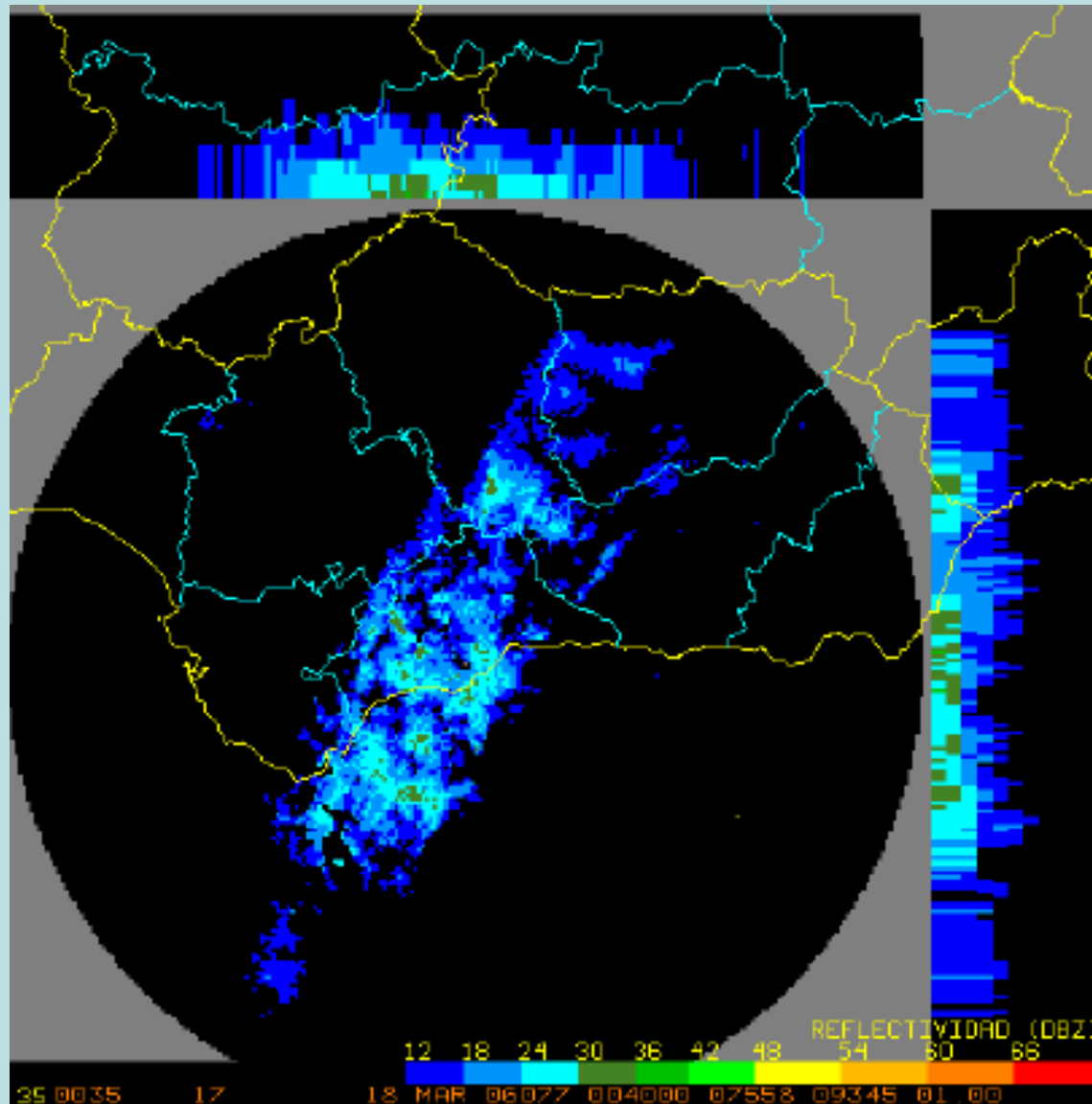


VIL ¿Precipitación convectiva o estratiforme?... ¿Peligrosidad?

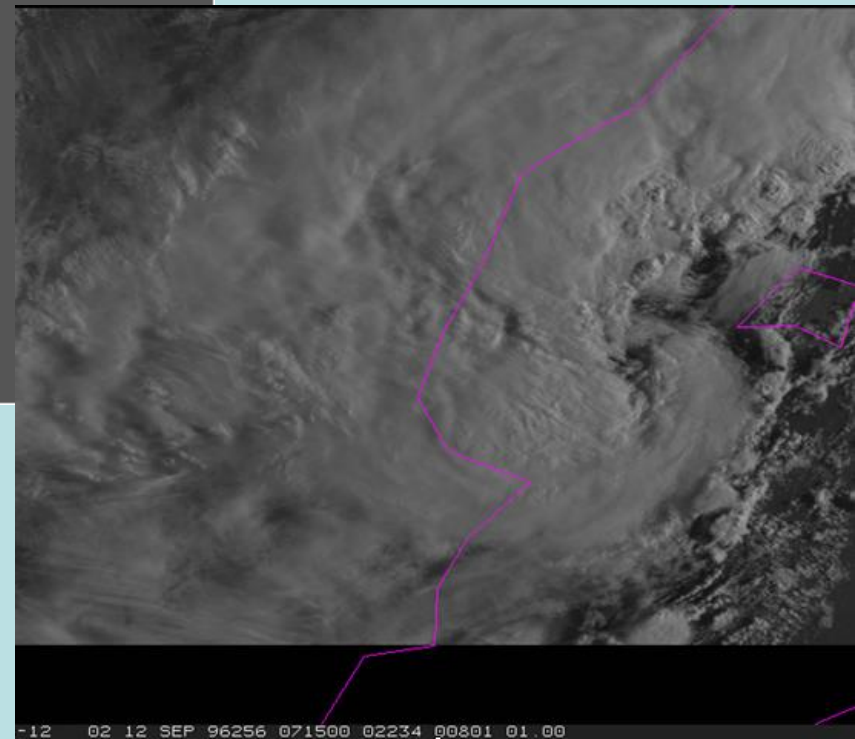
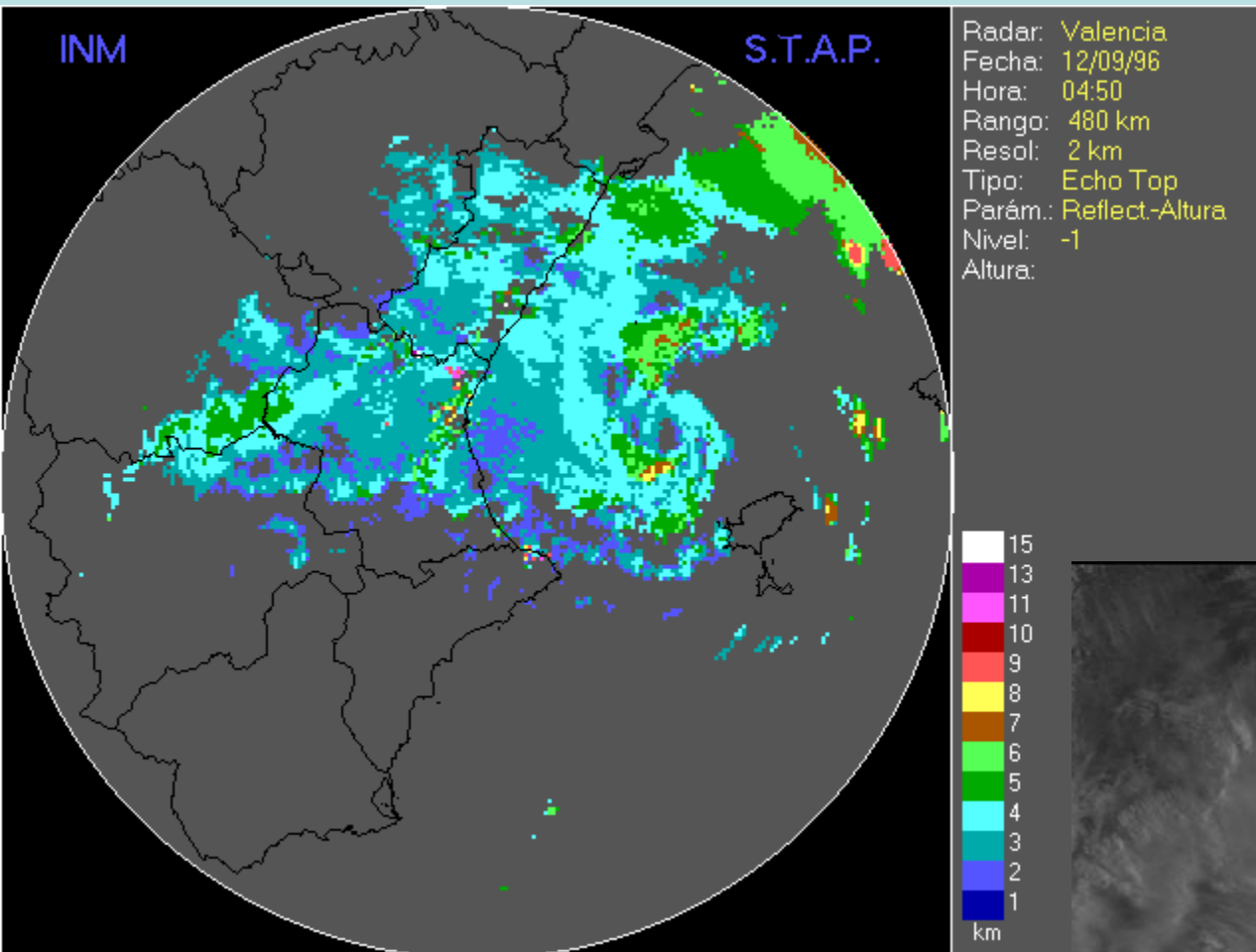


VIL ¿Lluvia o granizo?...

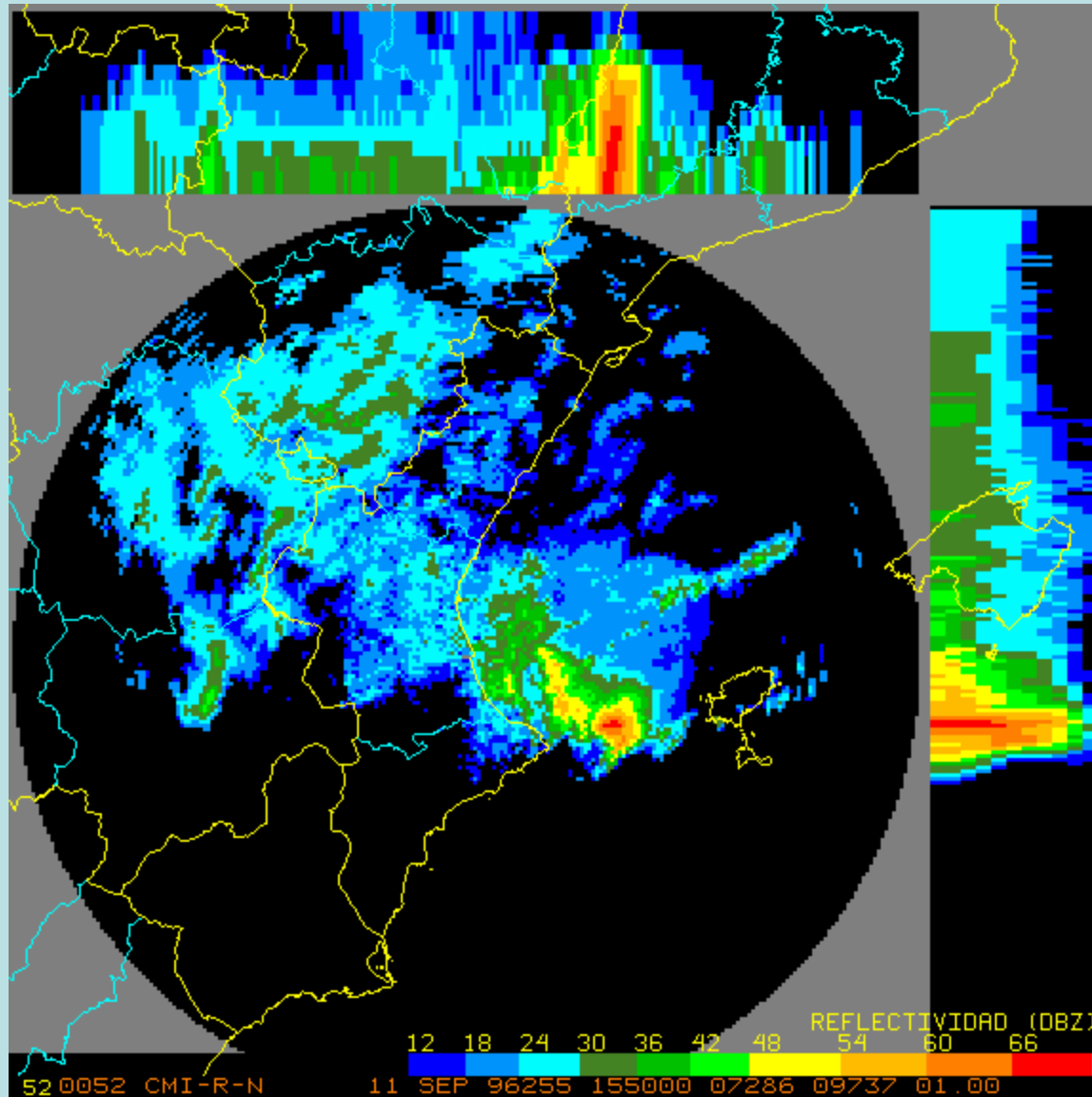




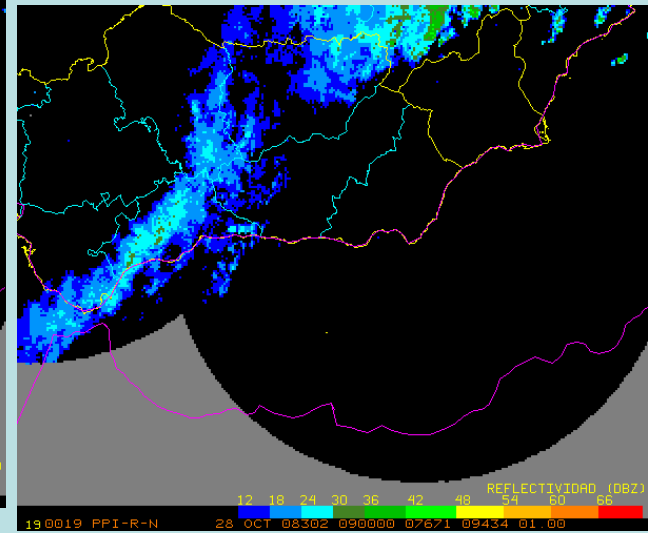
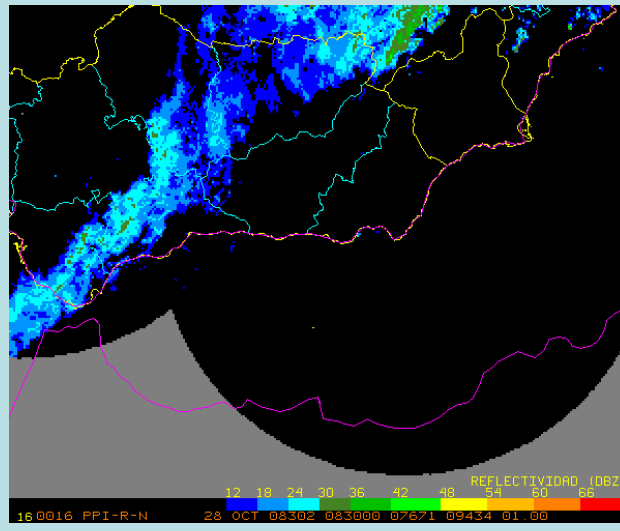
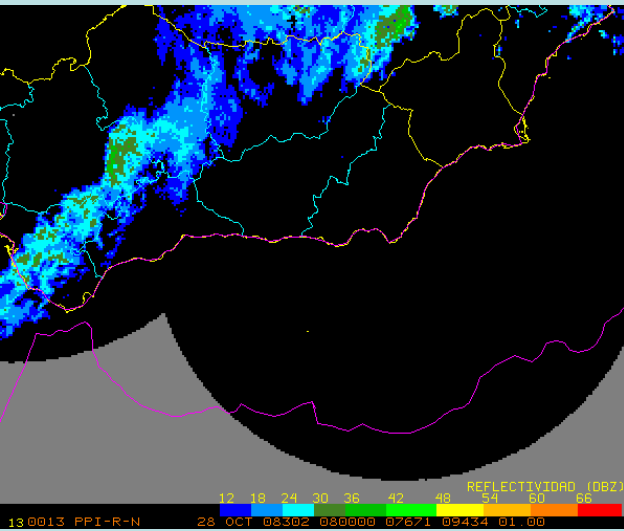
¿De qué tipo de sistema se trata?...  
¿Podría ser peligroso?



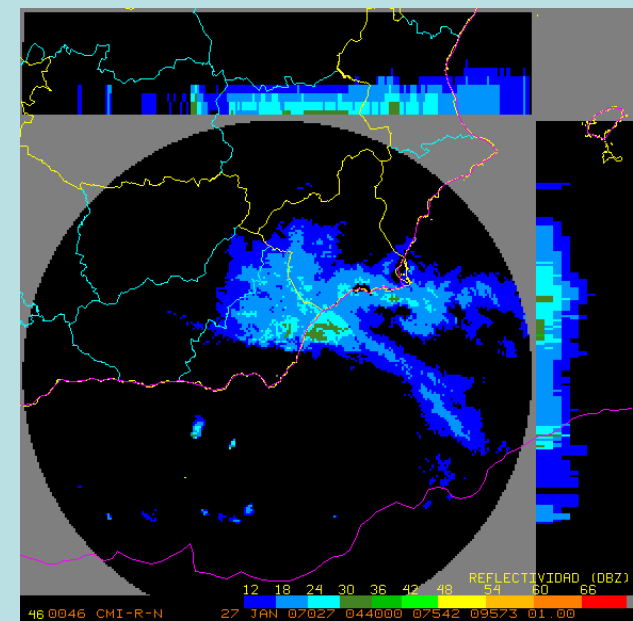
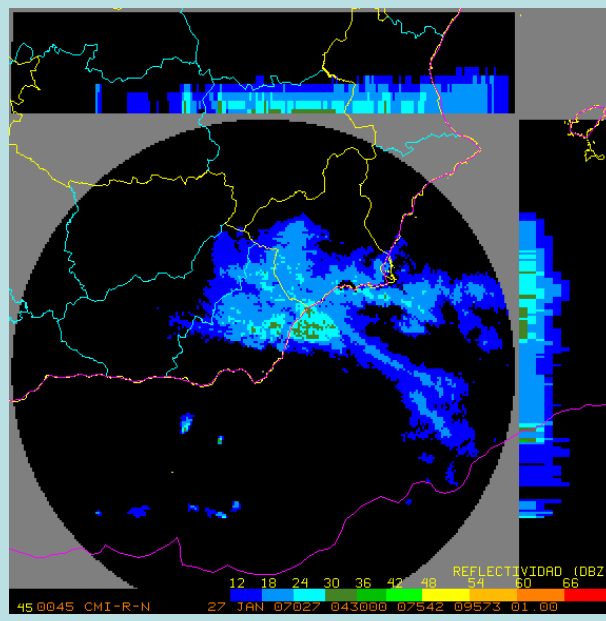
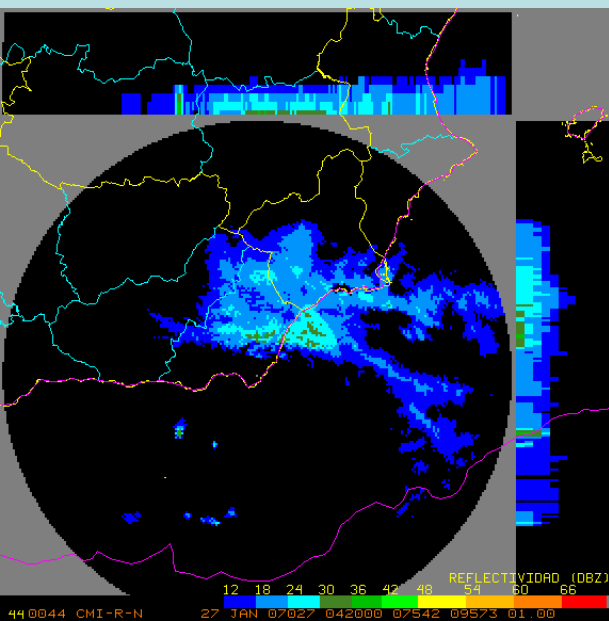
¿Qué sistema Mediterráneo aparece en las imágenes?

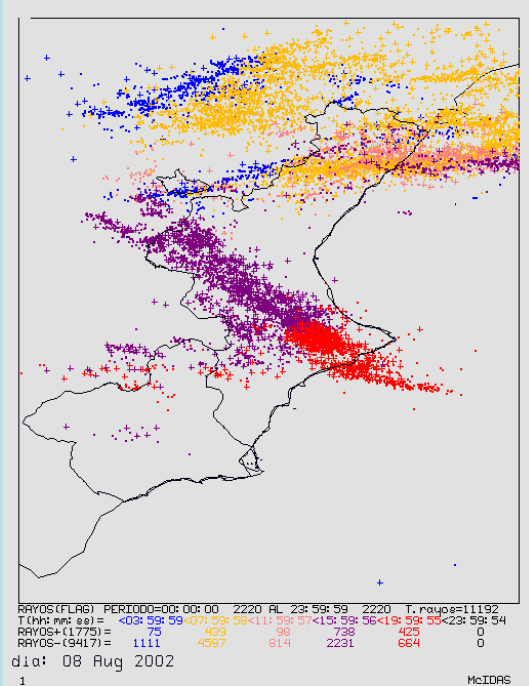
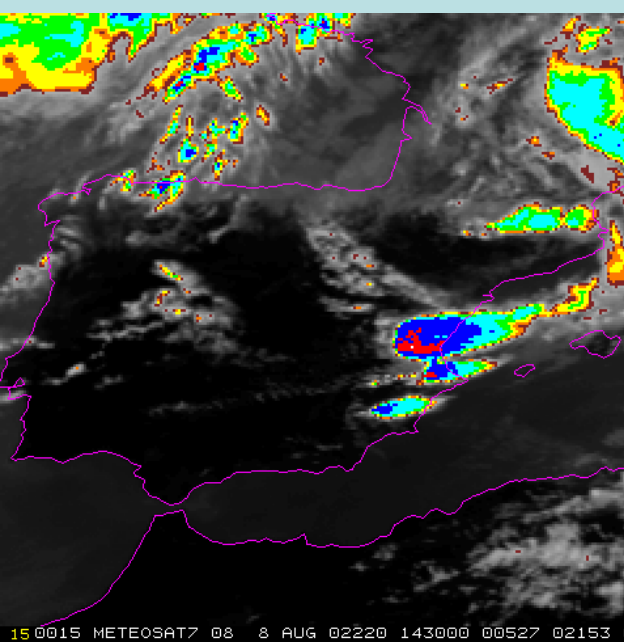
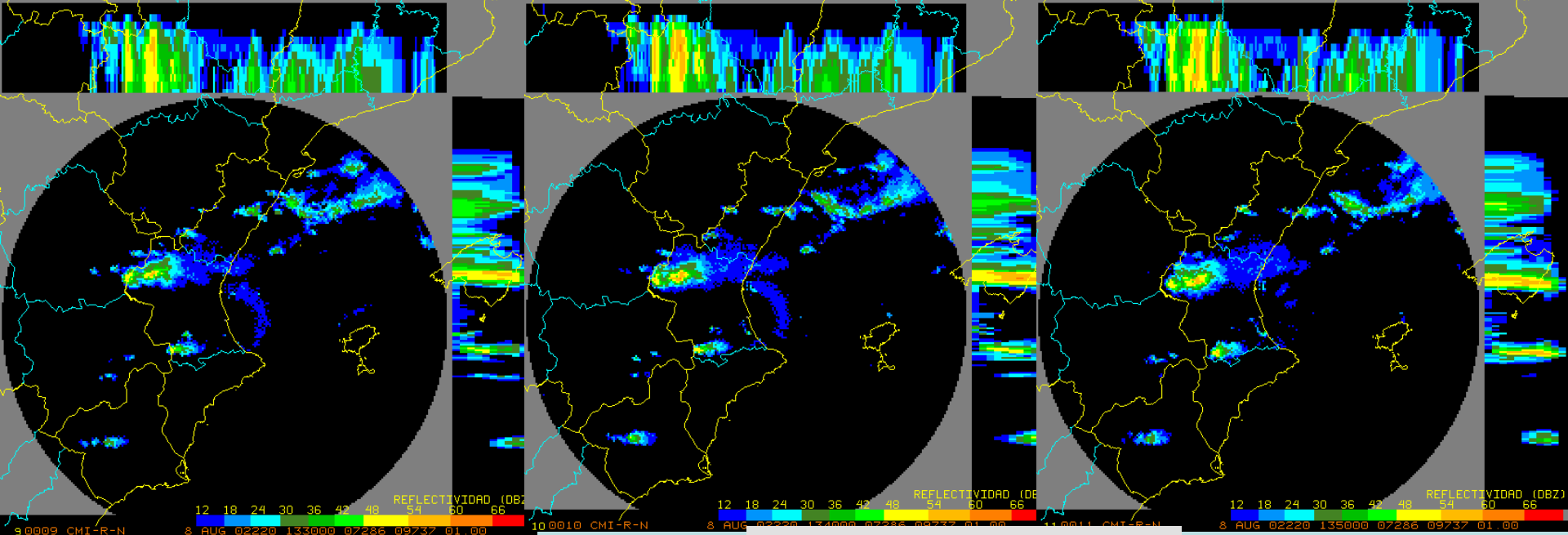


**ZMAX.** Comentar la situación: cizalladura, organización, intensidad, profundidad de la convección

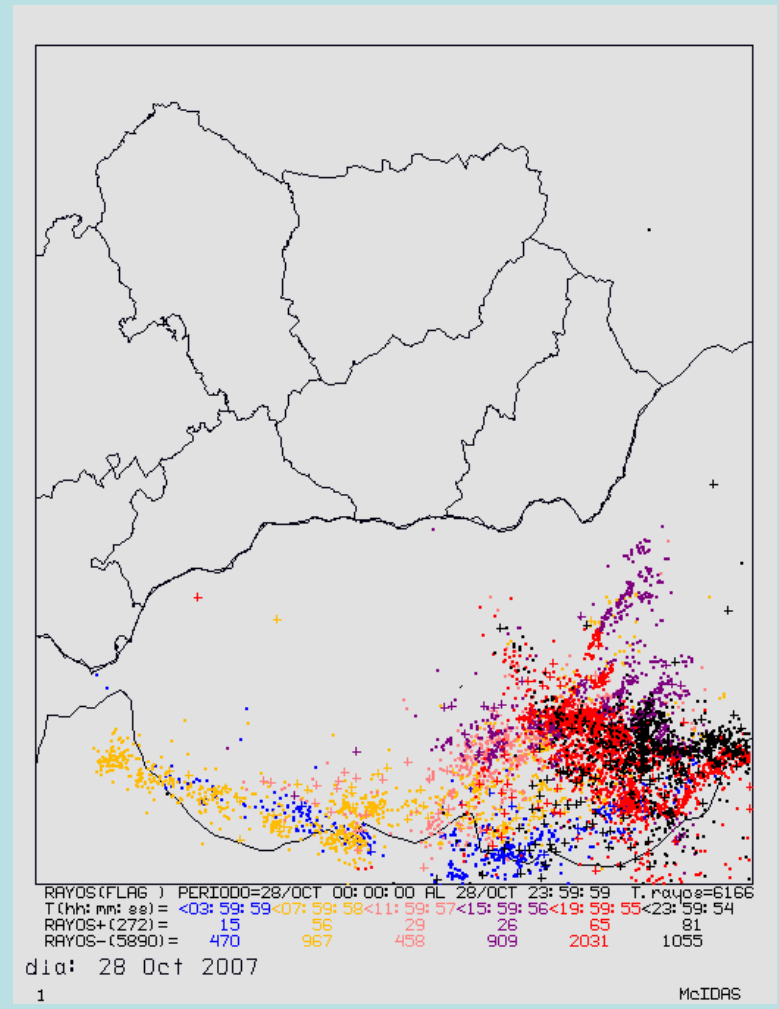
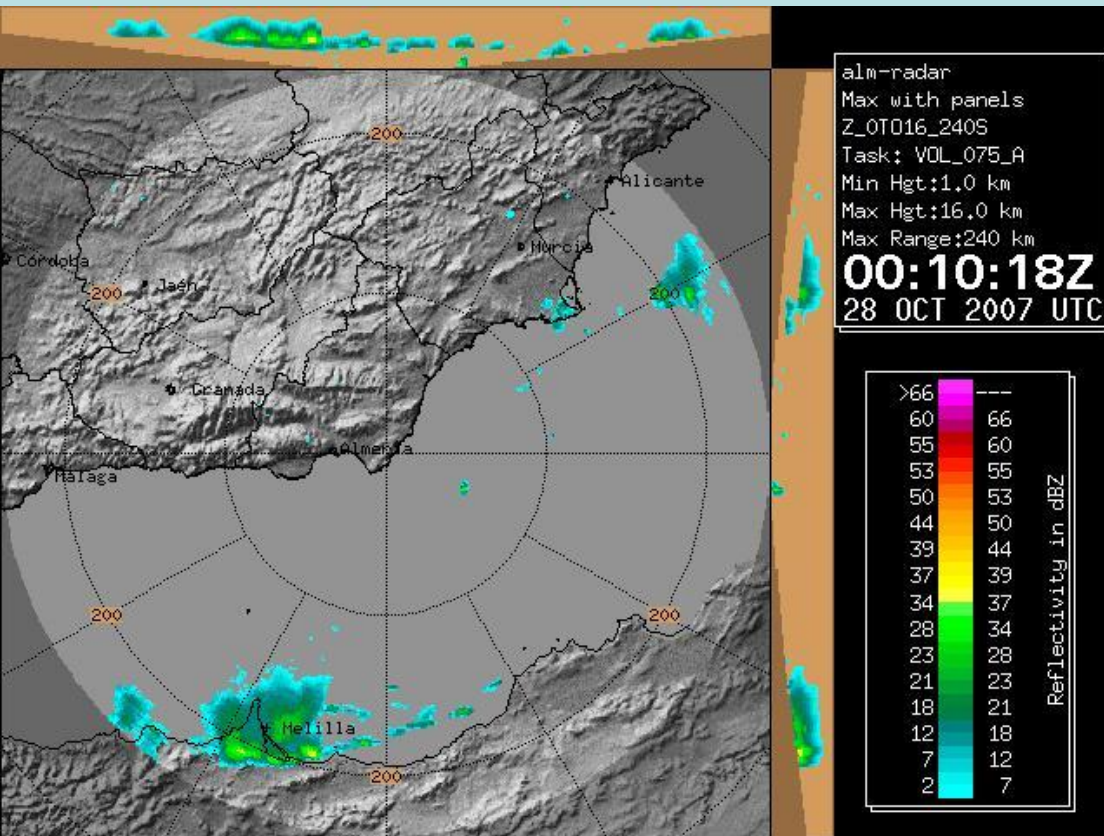


¿Es peligroso lo que se observa (ARRIBA Y ABAJO)?

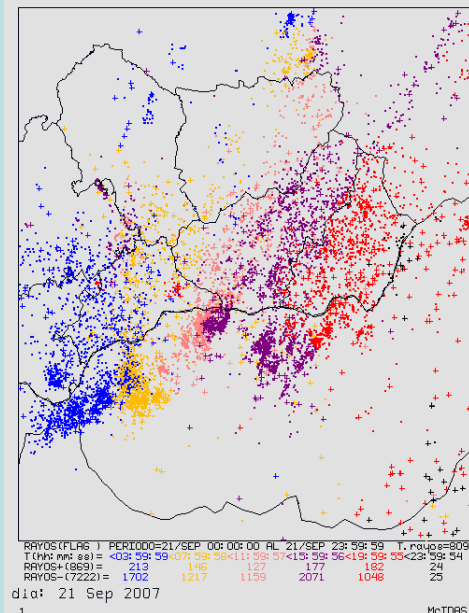
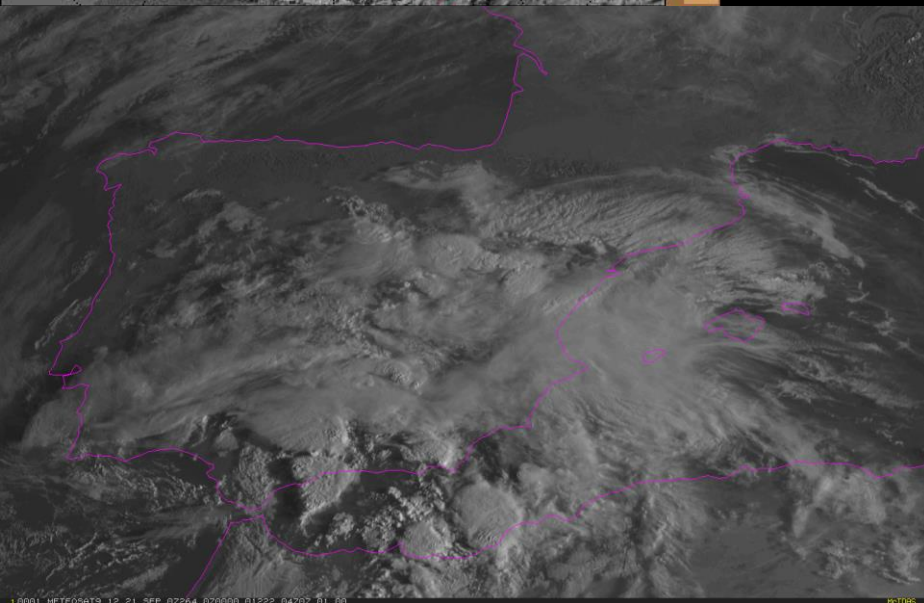
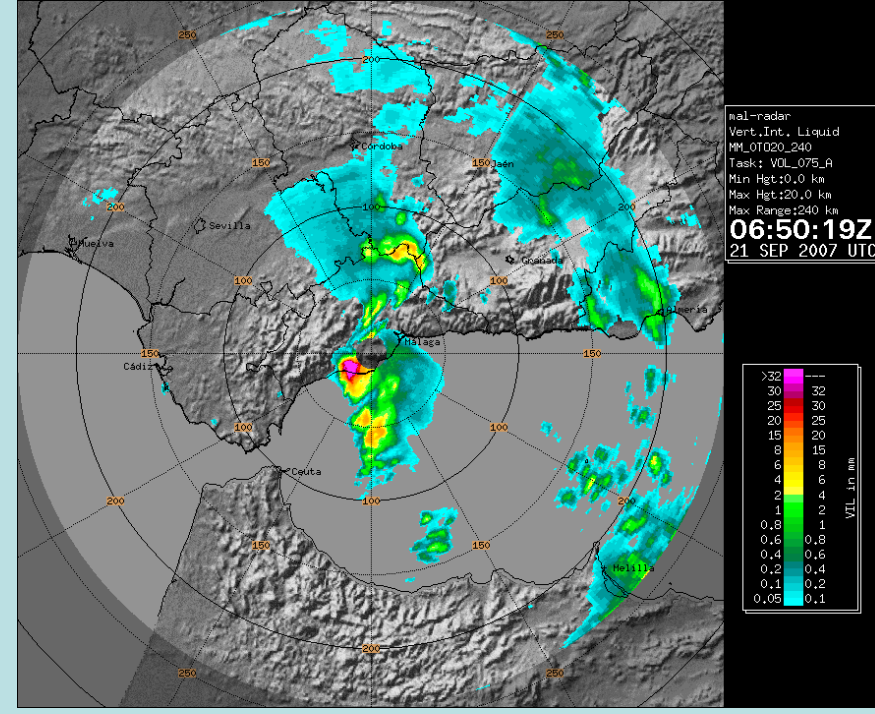
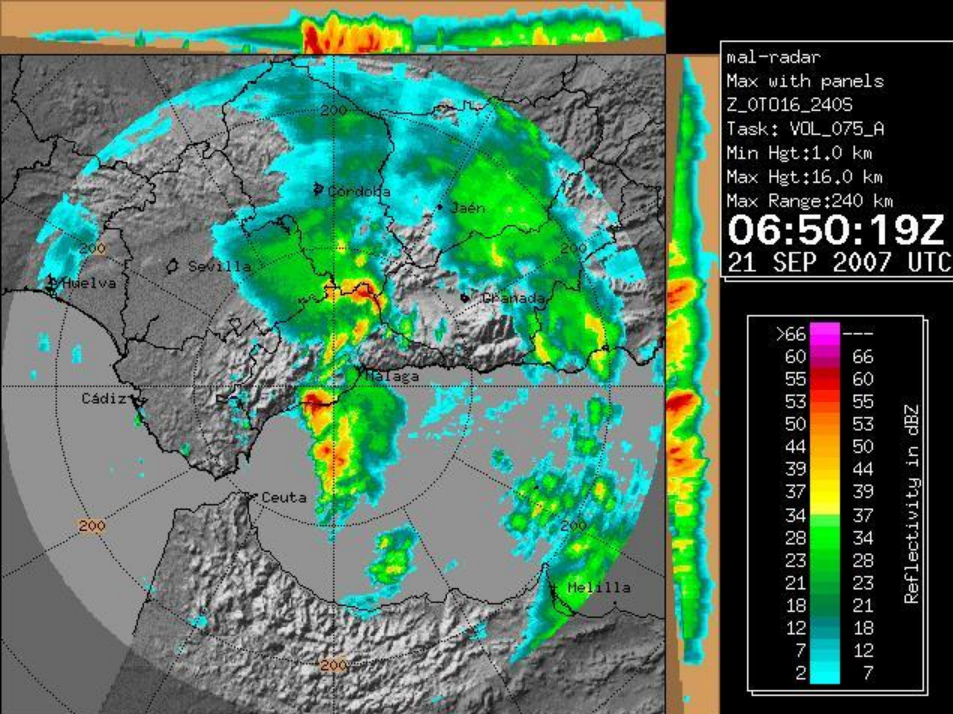




**28.- Valorar la utilidad de combinar herramientas**



**29** ¿Qué se observa en Melilla (norte de África)?



**30.- Comentar...**

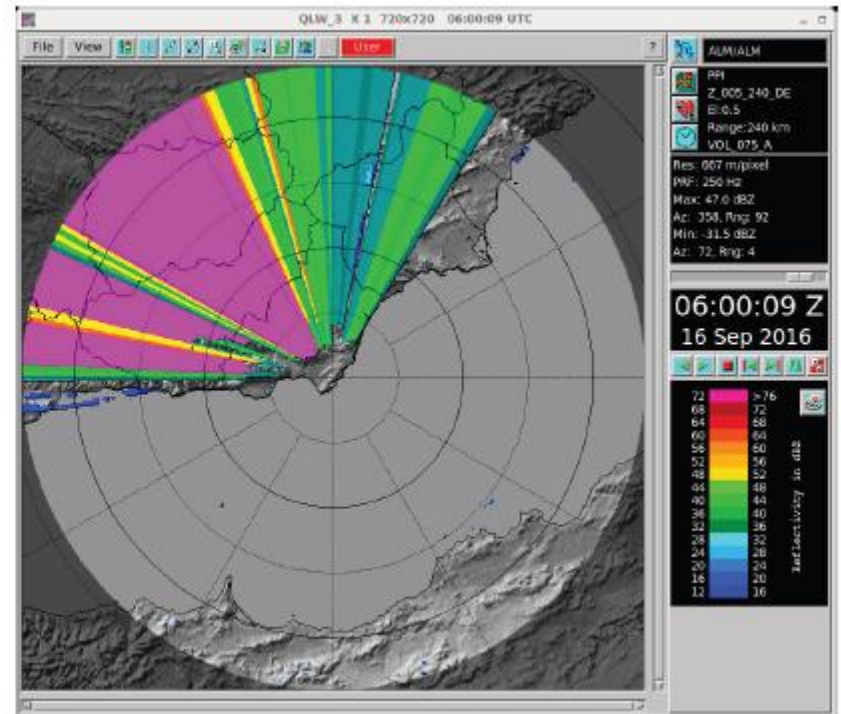
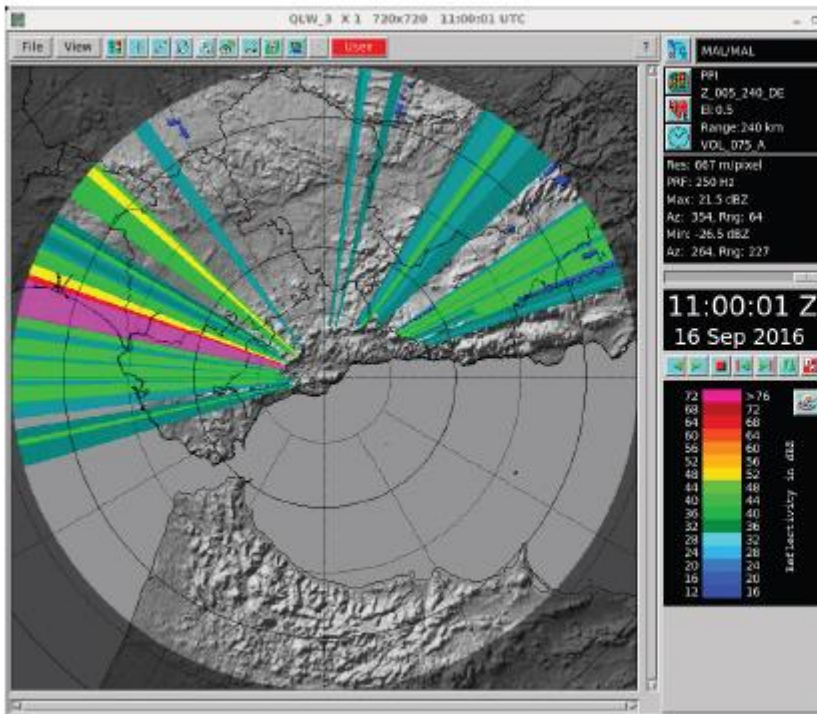
# Cuestión 31

Distinta visión de radares próximos



1

# A- INFORMACIÓN PREVIA BÁSICA (OCULTACIONES)



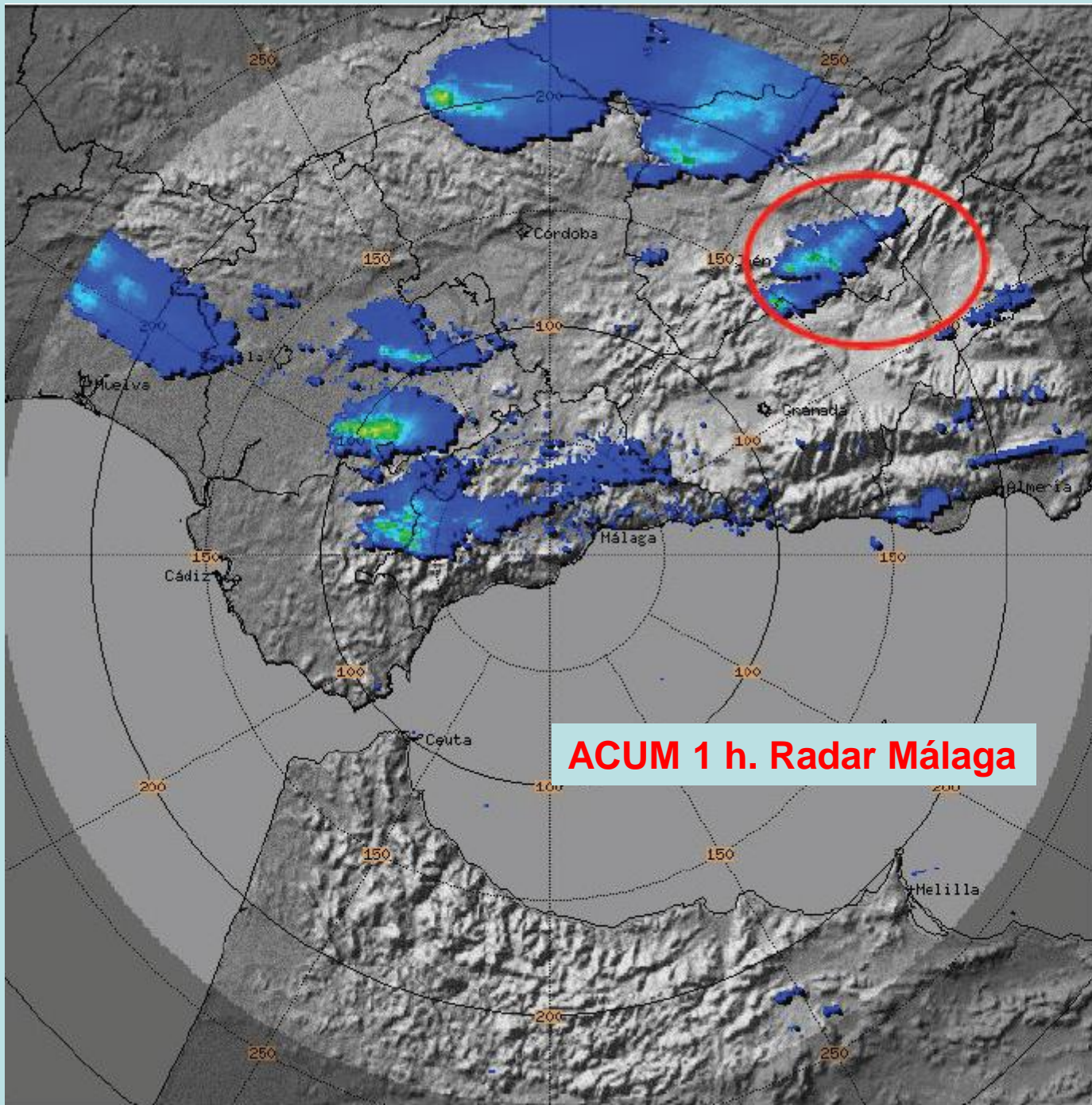
Ocultación orográfica para los radares de Málaga (izda) y Almería (dcha) para la exploración más baja de ángulo  $0.5^\circ$  de elevación

Pista: Hay que fijarse en las siguientes imágenes de ocultación orográfica de los radares de Málaga y Almería para la elevación de  $0.5^\circ$  y tratar de relacionarlas con las discrepancias observadas.

## B- INFORMACIÓN SOBRE LAS CUESTIONES A FORMULAR

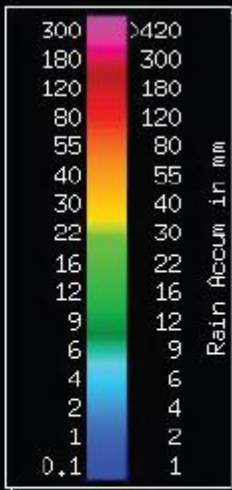
### IMÁGENES FACILITADAS DE LAS 19 UTC (7 SEPTIEMBRE 2015)

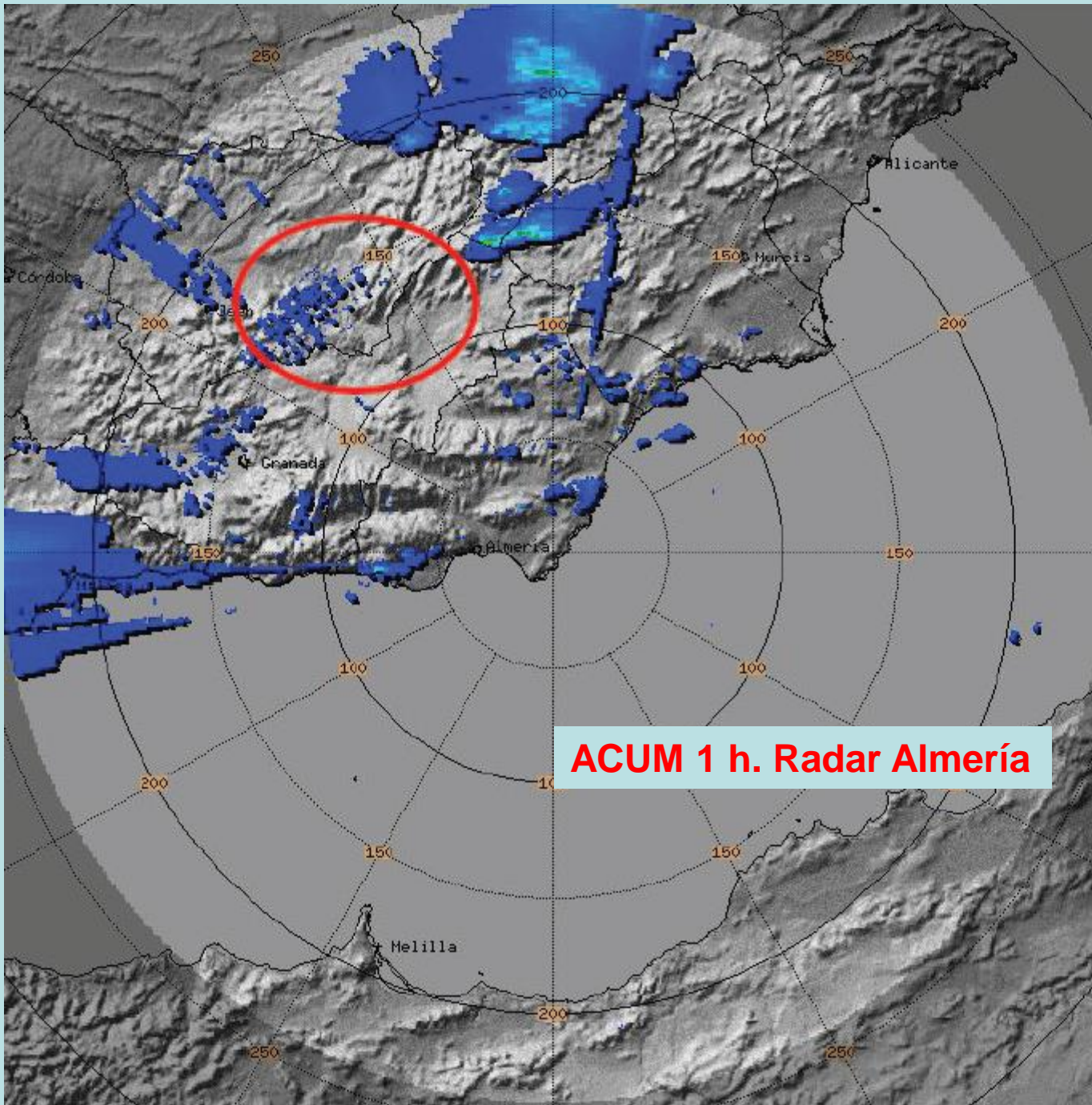
- 1.- Acumulación horaria del radar de Málaga
- 2.- Acumulación horaria del radar de Almería
- 3.- PPI de la primera elevación ( $0.5^\circ$ ) del radar de Málaga
- 4.- PPI de la primera elevación ( $0.5^\circ$ ) del radar de Almería
- 5.- ZMAX con solapas del radar de Almería
- 6.- ECHOTOP del radar de Almería



mal-radar  
Hourly Rainfall  
1HR\_SRT  
Task: VOL\_075\_A  
PRF: 250Hz  
Inputs:6, 60 min  
Max Range:240 km  
**19:00:00Z**  
**7 SEP 2015 UTC**

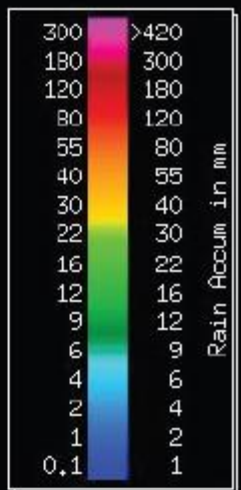
**ACUM 1 h. Radar Málaga**

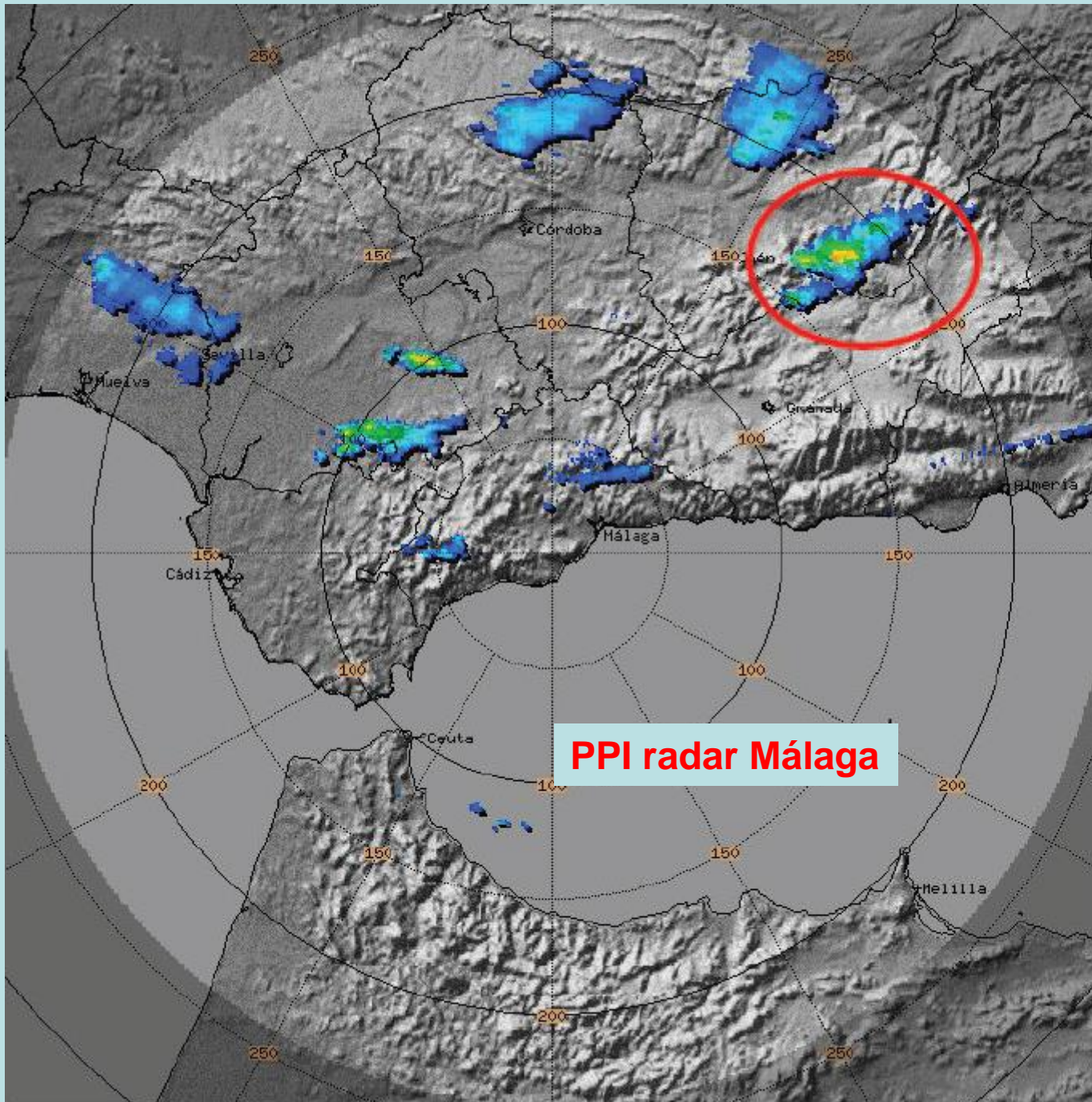




aln-radar  
Hourly Rainfall  
1HR\_SRI  
Task: VOL\_075\_A  
PRF: 250Hz  
Inputs:6, 60 min  
Max Range:240 km  
**19:00:00Z**  
**7 SEP 2015 UTC**

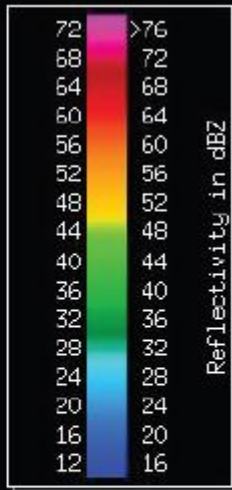
**ACUM 1 h. Radar Almería**

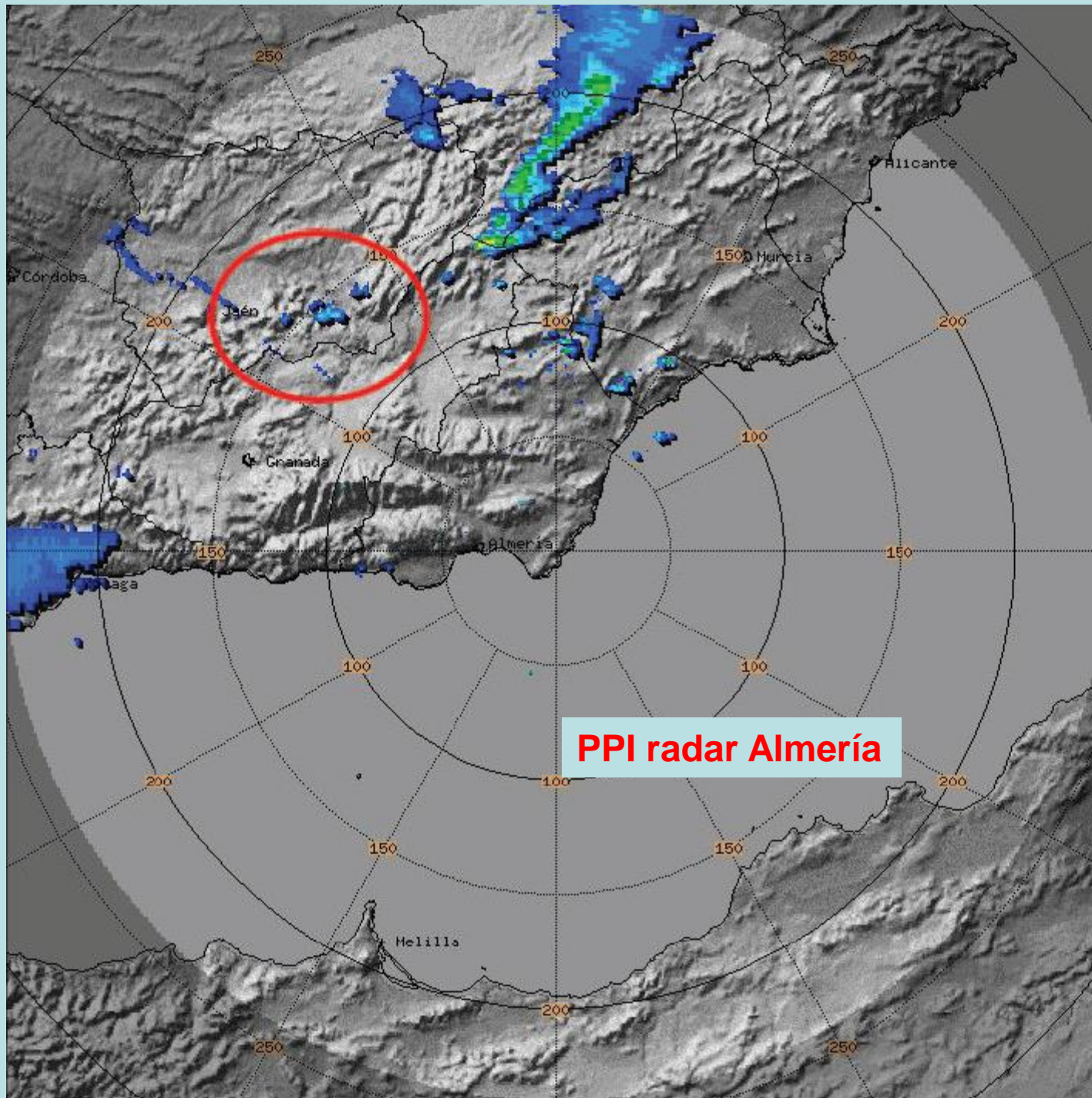




mal-radar  
PPI  
Z\_005\_240  
Task: VOL\_075\_A  
PRF: 250Hz  
Elevation:0.5  
Max Range:240 km  
**19:00:08Z**  
7 SEP 2015 UTC

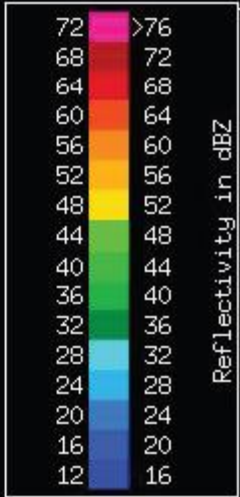
**PPI radar Málaga**

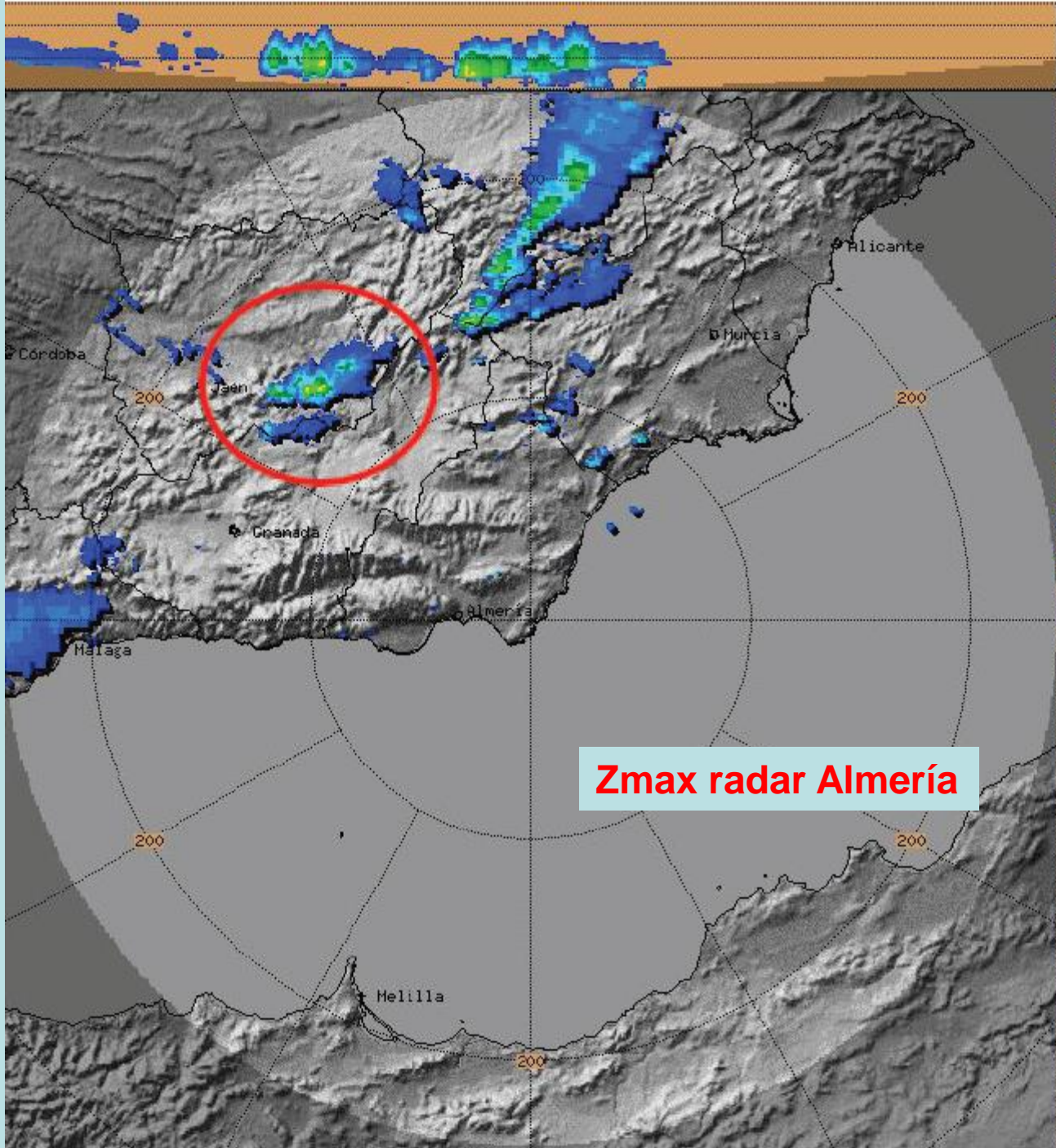




alm-radar  
PPI  
Z\_005\_240  
Task: VOL\_075\_A  
PRF: 250Hz  
Elevation:0.5  
Max Range:240 km  
**19:00:01Z**  
7 SEP 2015 UTC

**PPI radar Almería**



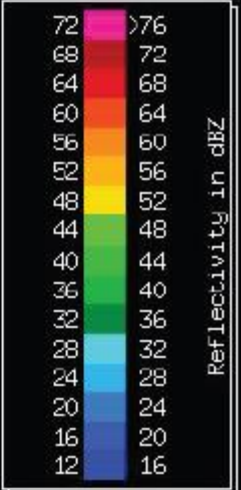


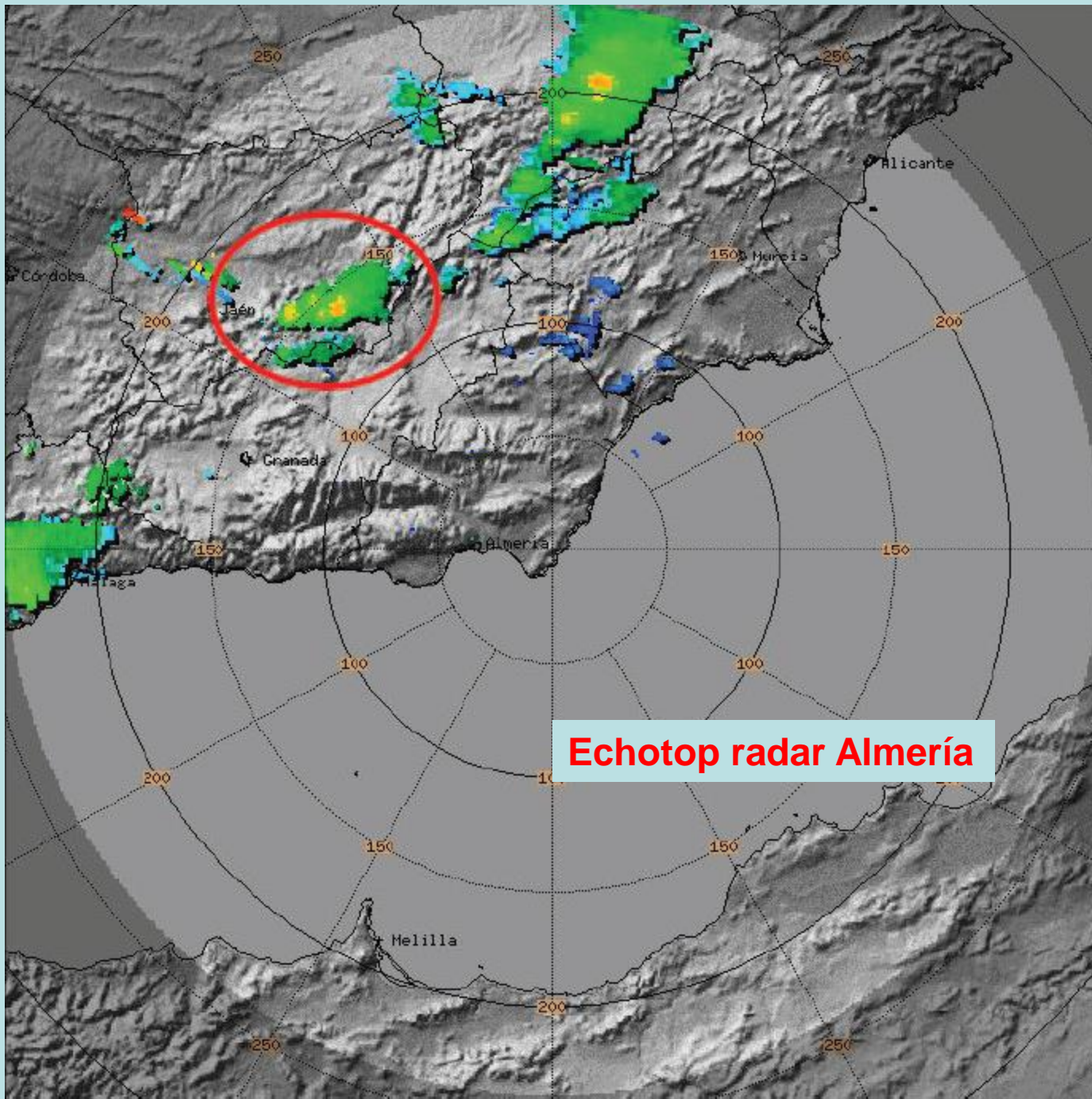
**Zmax radar Almería**

12.1

6.6

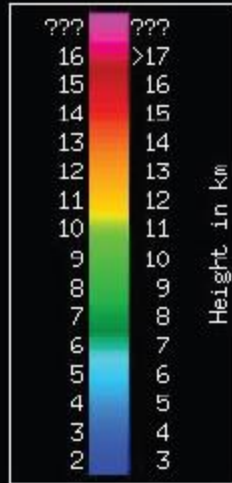
alm-radar  
Max with panels  
Z\_OTD16\_2405  
Task: VOL\_075\_A  
Min Hgt:1.0 km  
Max Hgt:16.0 km  
Max Range:240 km  
**19:00:01Z**  
7 SEP 2015 UTC





aln-radar  
Echo Tops  
12DBZ\_240  
Task: VOL\_075\_A  
PRF: 250Hz  
Thresh:12  
Max Range:240 km  
**19:00:01Z**  
**7 SEP 2015 UTC**

**Echotop radar Almería**



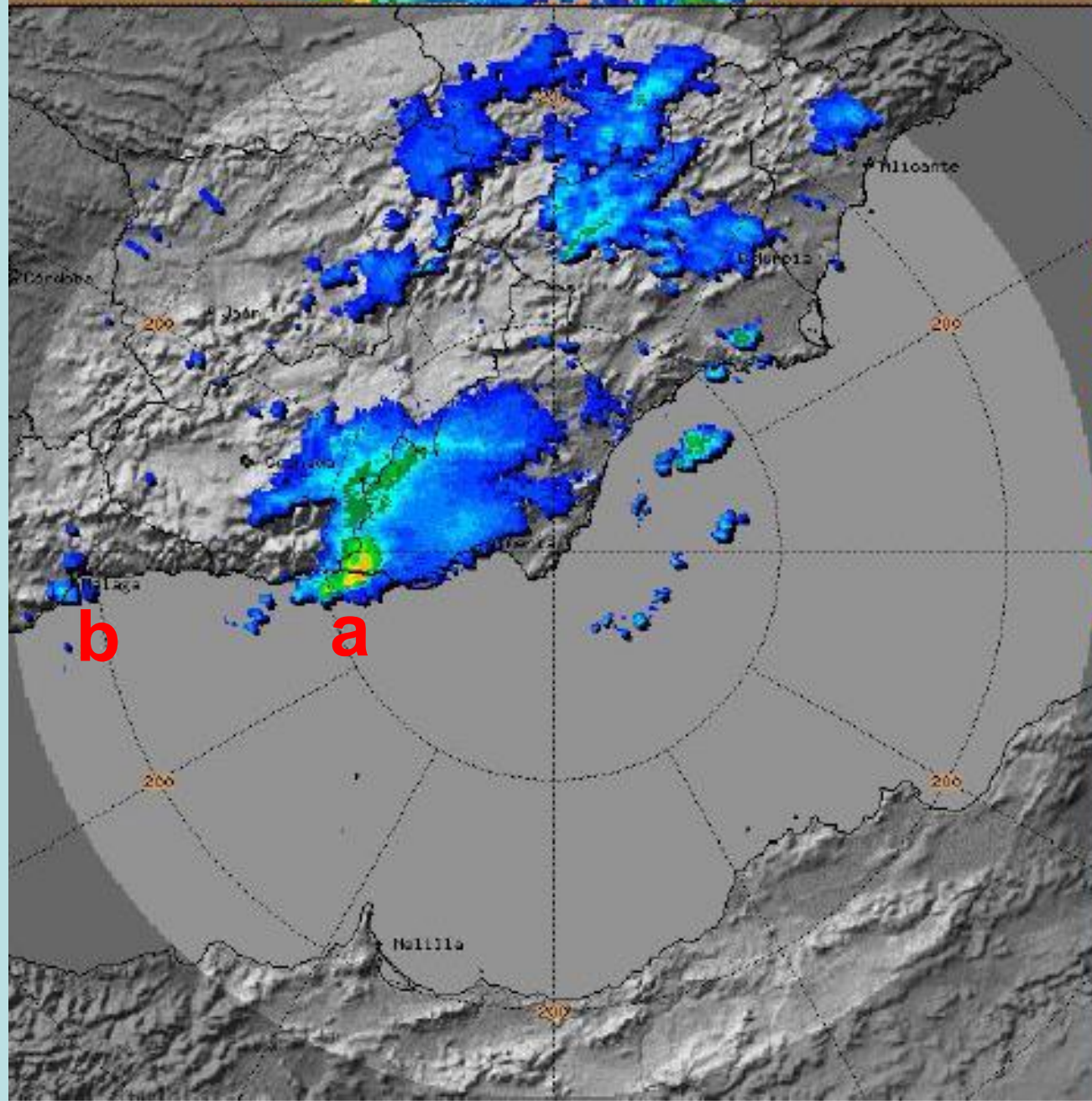


## PREGUNTAS

Si nos fijamos en la zona geográfica delimitada en rojo, que es la misma en todas las imágenes, explorada por ambos radares, se pide responder a las siguientes preguntas:

- a. ¿Qué discrepancias se observan entre las imágenes del radar de Málaga y las del radar de Almería?
- b. ¿Qué discrepancias se observan (y cómo se explican) los distintos productos (PPI, ECHOTOP, ZMAX) en el radar de Almería a las 19:00 UTC?

Determinar si hay diferente capacidad de detección del radar de dos células concretas en la figura siguiente, teniendo en cuenta su posición relativa y en relación al radar...



aly-radar  
 Max with panels  
 Z\_01016\_2405  
 Task: VOL\_075\_A  
 Min Hgt:1.0 km  
 Max Hgt:16.0 km  
 Max Range:240 km  
**09:20:01Z**  
 7 SEP 2015 UTC



## **BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN:**

- **Curso de radar de Juan Pablo Álvarez Alonso (AEMET)**
- **Radar Research and Development Dept. NSSL (EEUU)**
- **Rafael Sánchez-Diezma (Tesis, 2001) de la UPC**
- **Radar Dept. McGill University (Canada)**
- **Curso de radar de Francisco Martín León (AEMET)**
- **Curso de radar de Ismael San Ambrosio (AEMET)**
- **Módulos COMET (NCAR)**
- **NWS (USA)**
- **SMNM (Conagua)**
- **[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/home.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/home.rxml)**
- **Curso “Aplicaciones hidrometeorológicas de los radares meteorológicos”. AECID Montevideo 2017. Ismael San Ambrosio**