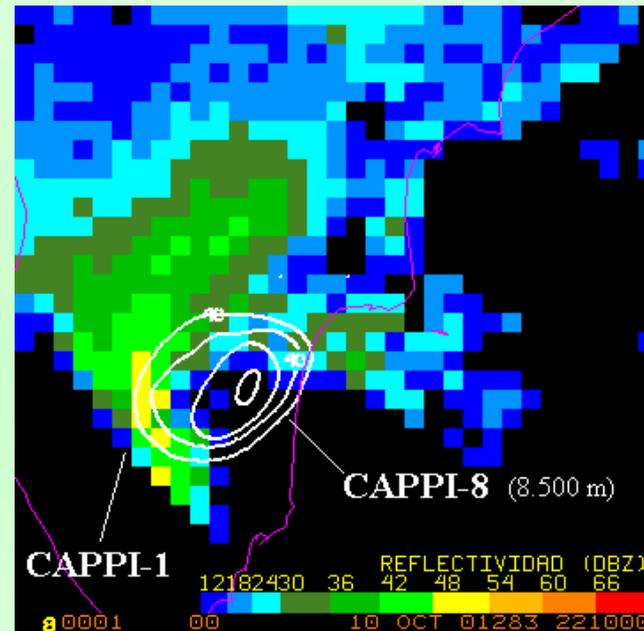


INFORMACION SUMINISTRADA POR LOS RADARES METEOROLOGICOS



Jorge Tamayo Carmona

Instituto Nacional de Meteorología-España

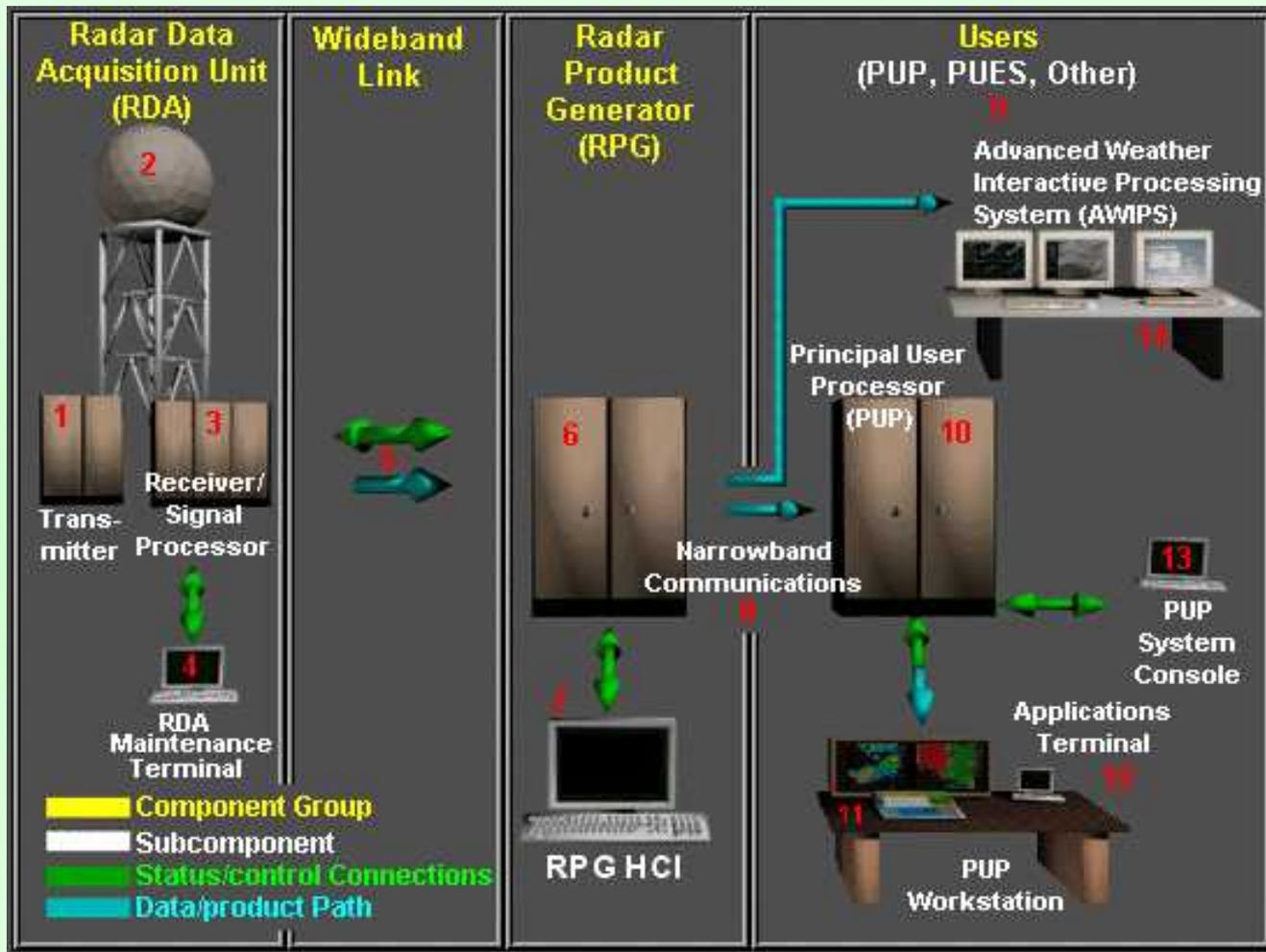
tamayo@inm.es

DESCRIPCION DEL RADAR

- Sistema terrestre de teledetección activa
- RAdio Detecting And Ranging
- No tiene un “inventor” claro
- Hito: desarrollo del magnetrón. Sistema capaz de emitir pulsos muy cortos, de λ muy pequeña, muy direccionales y muy energéticos (1940)

Sistema radar

- Incluye no únicamente el equipo captador de datos (RADAR) sino todos los elementos necesarios para que la información este disponible lo antes posible al predictor (o usuario final) en formato amigable.



OBJETO DEL RADAR METEOROLÓGICO

- Obtener información sobre la localización e intensidad de la precipitación
- Obtener de forma sistemática magnitudes físicas de interés climatológico
- Ampliar el conocimiento sobre la estructura de los sistemas meteorológicos
- Ampliar la resolución espacial y temporal de las medidas hidrometeorológicas
- Obtener información sobre parámetros no relacionados con la precipitación, como viento o turbulencia

Ventajas de la observación Radar

- Teledetección activa del blanco
- Exploración tridimensional
- Gran resolución espacial y temporal
- Datos en tiempo casi real
- Complementaria a la información satelital e *in situ*

- Mejora de la predicción en un amplio rango temporal (Nowcasting-Medio Plazo)
- Vigilancia y predicción a muy corto plazo de fenómenos mesoescalares
- Avisos más precisos en el tiempo y espacio
- Predicciones hidrológicas
- Sistemas automáticos de reconocimiento de sistemas y generación de avisos

Algunos inconvenientes

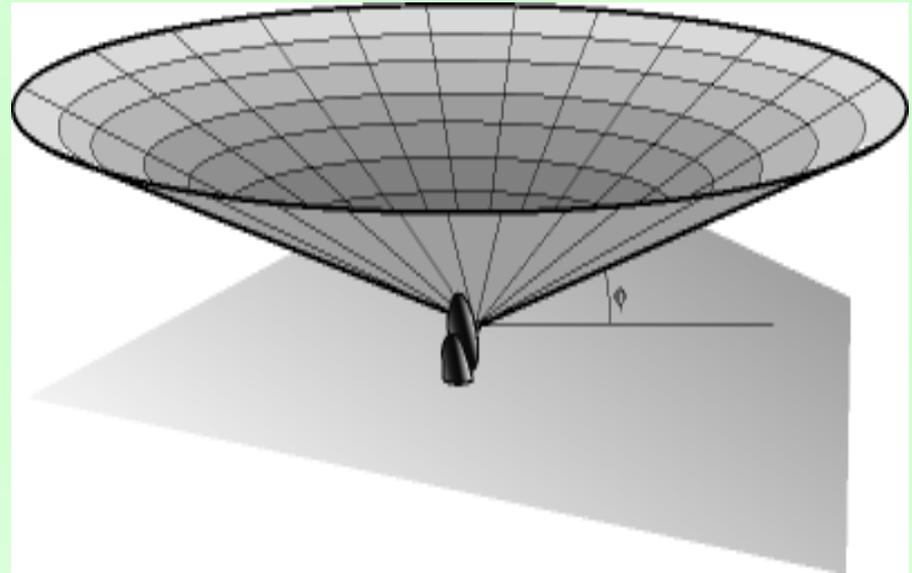
- Ambigüedad en determinadas medidas
- Medidas indirectas. Necesidad de Software muy específico y complejo.
- Dificultad en la interpretación de las medidas
- Coste de los equipos
 - Adquisición
 - Mantenimiento

Tipos de radares meteorológicos

- Elevación constante
- Volumétricos
- Multiparamétricos
 - Doppler
 - Polarización dual

Radares volumétricos

- Varios niveles de elevación.
- Productos basados en volúmenes (cortes verticales, CAPPI, reflectividades máximas...)
- Obtienen volúmenes polares (centro en el radar y radio igual al alcance)
- Paso a volúmenes cartesianos, por SW



Radars multiparamétricos

- Última generación (Doppler y polarización dual)
- Monitorización del viento
- Forma de los blancos
- Menor alcance
- Mayor lentitud de movimiento de antenas (menor frecuencia de imágenes y menos niveles)
- Mayor dificultad en interpretación imágenes
- Caros

Modos de trabajo de los radares

- **Modo Normal**

- Detección volumétrica de las zonas de precipitación
- Sin datos de vientos

- **Modo Doppler**

- Detección de zonas de precipitación
- Perfil de vientos

- **Polarización dual**

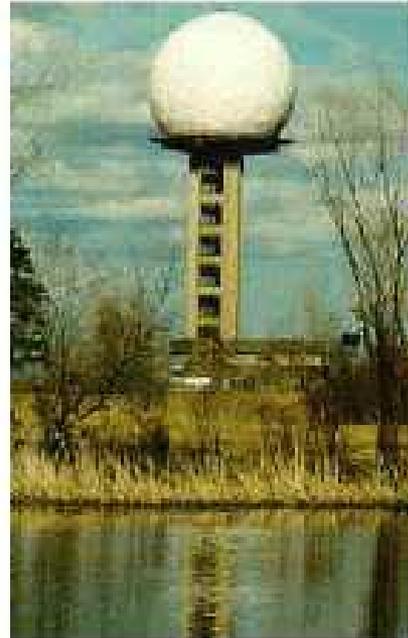
- Información sobre el tipo de precipitación
- Información sobre el tamaño de las gotas

Bandas de trabajo en los radares meteorológicos

- Longitudes de onda (λ) de 0,8 cm a 10 cm
- A menor λ equipos más pequeños y baratos
- A menor λ mayor eficacia en detectar menores partículas
- A menor λ mayor atenuación
- Para detectar tiempo severo, λ mayores

Banda S

- Longitud de onda = 10 cm (2-4 GHz)
- Precipitaciones convectivas.
- Atenuación débil
- Antena de gran tamaño (6 m)
- Caro



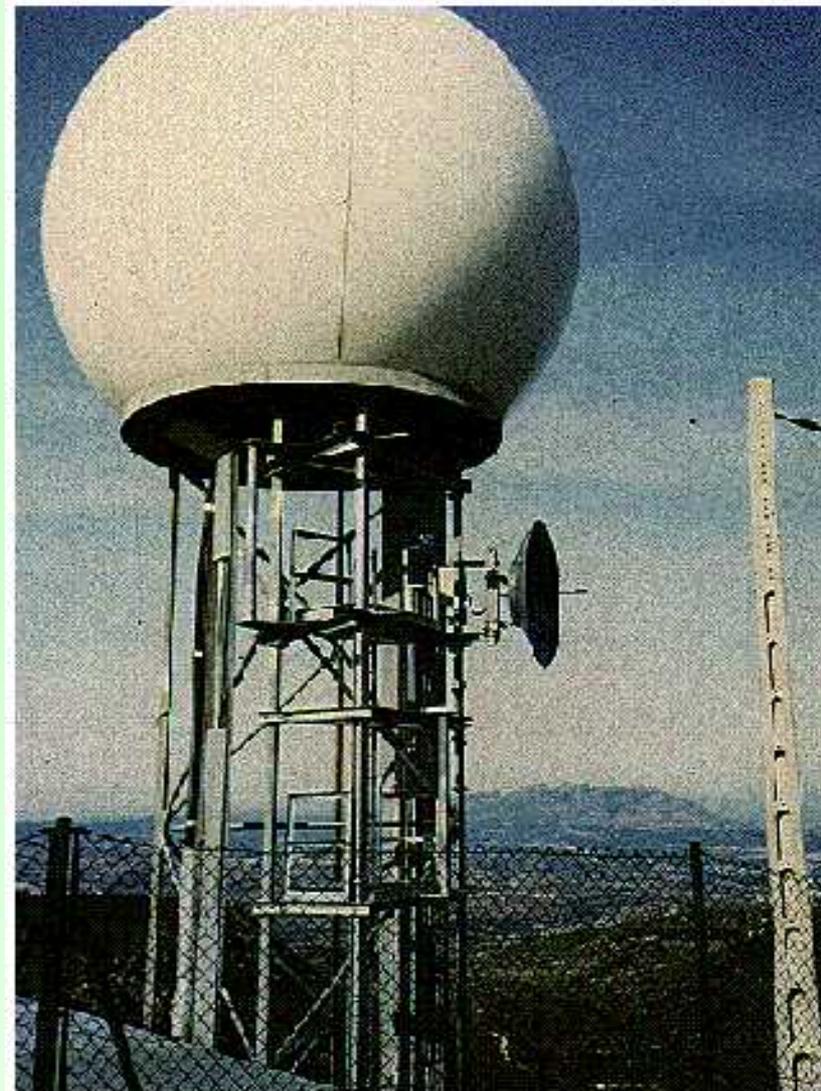
Radars de banda S del Marshall radar Observatory (MRO), en Montreal, Canadá, con un disco de unos 10 m de diámetro



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

Banda C

- Longitud de onda = 5cm (4-8 GHz)
- Más común en zonas de orografía compleja
- Atenuación significativa.
- Antena de 3 a 4 m
- Banda de los radares del INM
- Mitad de precio que banda S



Banda X

- Longitud de onda = 3 cm (8-12 GHz)
- Investigación o hidrología urbana
- Gran atenuación
- Equipos portátiles
- El mas económico
- A bordo de aviones



Factores para seleccionar la banda de trabajo

- Sensibilidad.
- Resolución
- Tipos de blancos predominantes
- Efectos atmosféricos

Ecós

- Reflectividades.
- Escala decibélica, dBZ (Potencia emitida 10^5W /Potencia eco 10^{-10}W)
- Ecós:
 - Partículas de precipitación
 - Información en un “volumen”
 - No datos directos sobre tipo o tamaño de las partículas
 - Zonas donde varía el índice de refracción
 - Insectos y pájaros

Ecuación del radar

- Relación entre energía emitida con la recibida

- $P_r = A * B * K^2 * Z / r^2$

A=constante

B=constante, depende del radar (longitud de onda, ganancia, anchura del haz, duración del pulso...)

K=depende del índice de refracción y absorción del blanco

$K^2=0,93$ agua líquida; $K^2=0,21$ hielo

El Radar ve mejor el agua líquida que el hielo

r = distancia al blanco

Z=factor de reflectividad. Depende de la distribución de tamaños de los blancos. Parámetro usado operativamente.

Blancos dispersos: Muchos elementos dispersores afectados por un haz determinado

Aproximación: Difusores esféricos. Tamaño pequeño frente a λ (aproximación de Rayleigh)

$Z = \Sigma D^6 = \int N(D) D^6 dD$ (D=diámetro de las gotitas)

Escala decibélica ($P_e \sim 10^5 W$; $P_r \sim 10^{-3} W$)

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

$10 \log Z = \text{dBZ}$

Parámetros del Radar

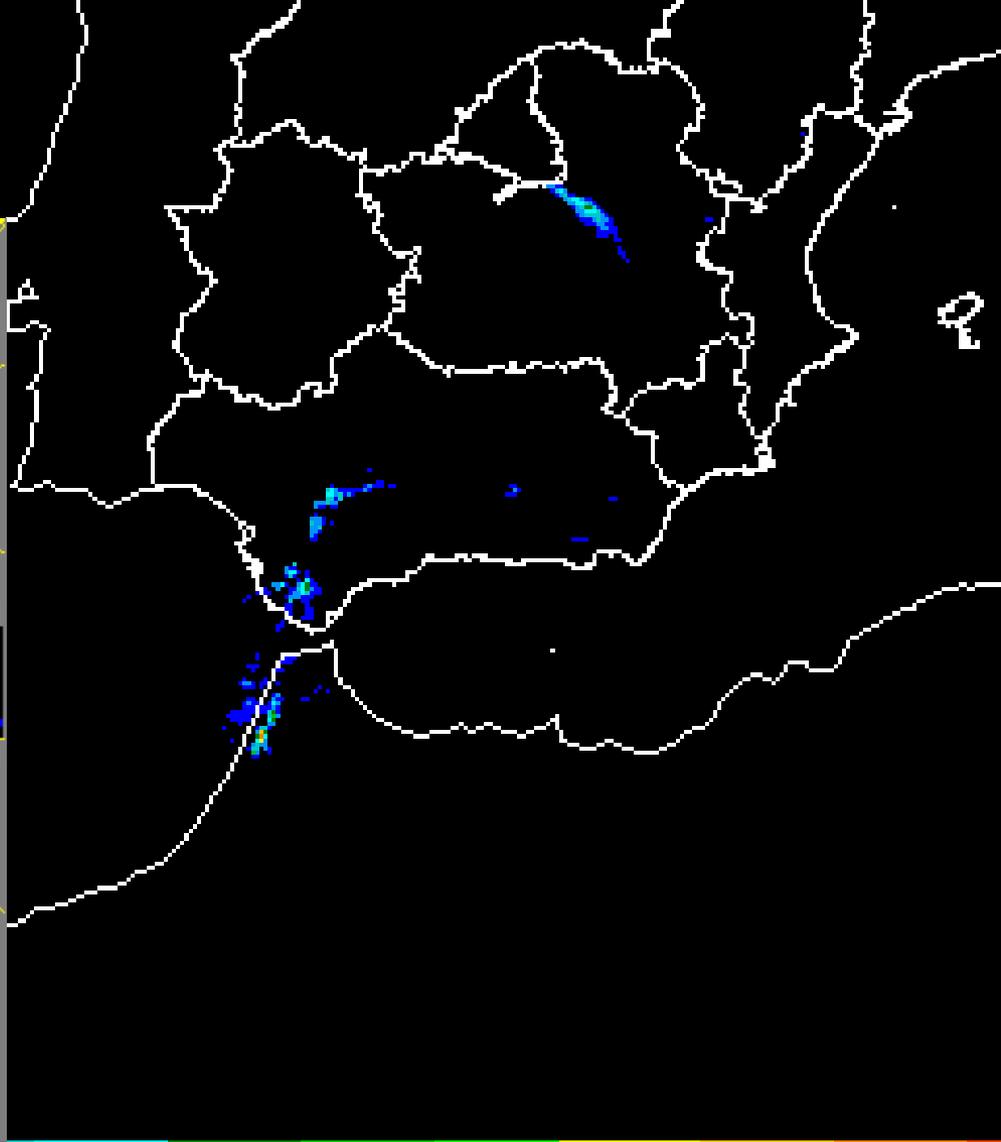
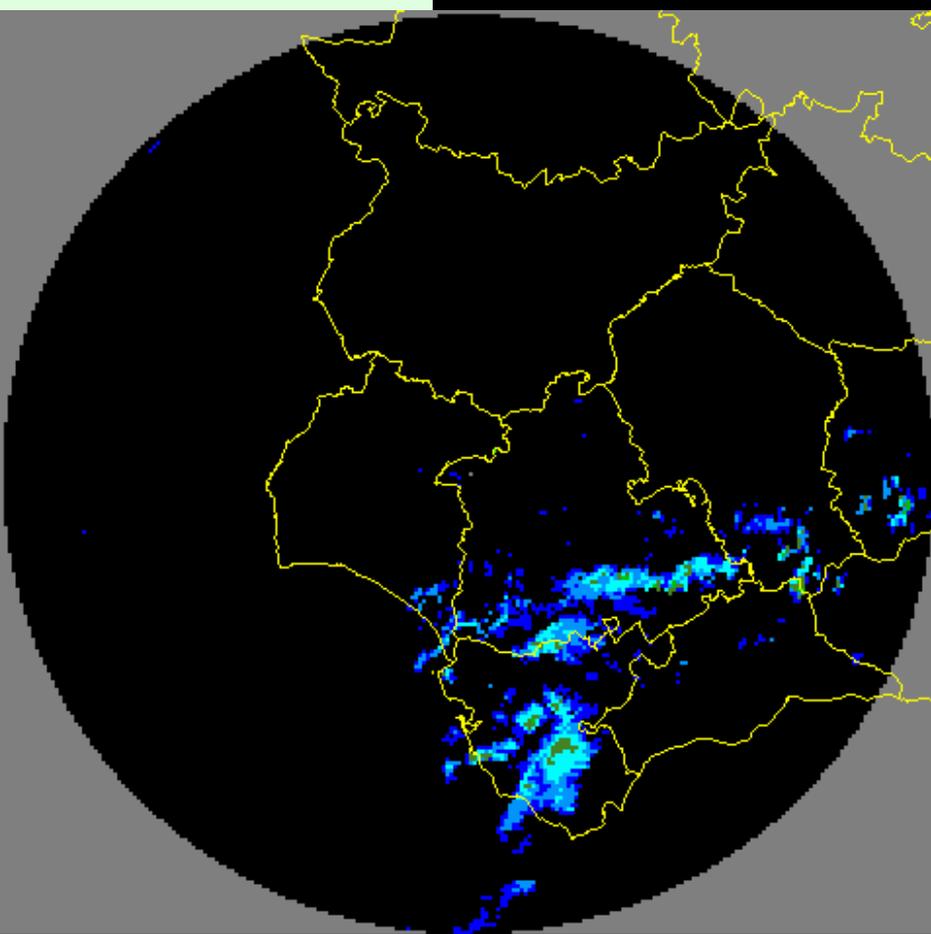
- Resolución radial
- Alcance
- Resolución angular
- Volumen de resolución de un pulso

Relaciones Z-R

- Relación entre reflectividad y precipitación
- $Z = a R^b$ Relación de Marshall-Palmer
 - a y b constantes experimentales.
 - Se necesita un conocimiento exacto de la distribución de tamaños de las gotas y de la velocidad vertical del viento. Por consiguiente, no pueden obtenerse simples relaciones Z-R que den resultados precisos para cada situación.
 - Sobreestimaciones debidas al granizo
 - Sobreestimaciones debidas a la banda brillante

Relaciones Z-R del INM

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



REFLECTIVIDAD (DBZ)
12 18 24 30 36 42 48 54 60 66

1 0001 PPI-R-N

26 OCT 01299 072000 07534M 0805 0

REC

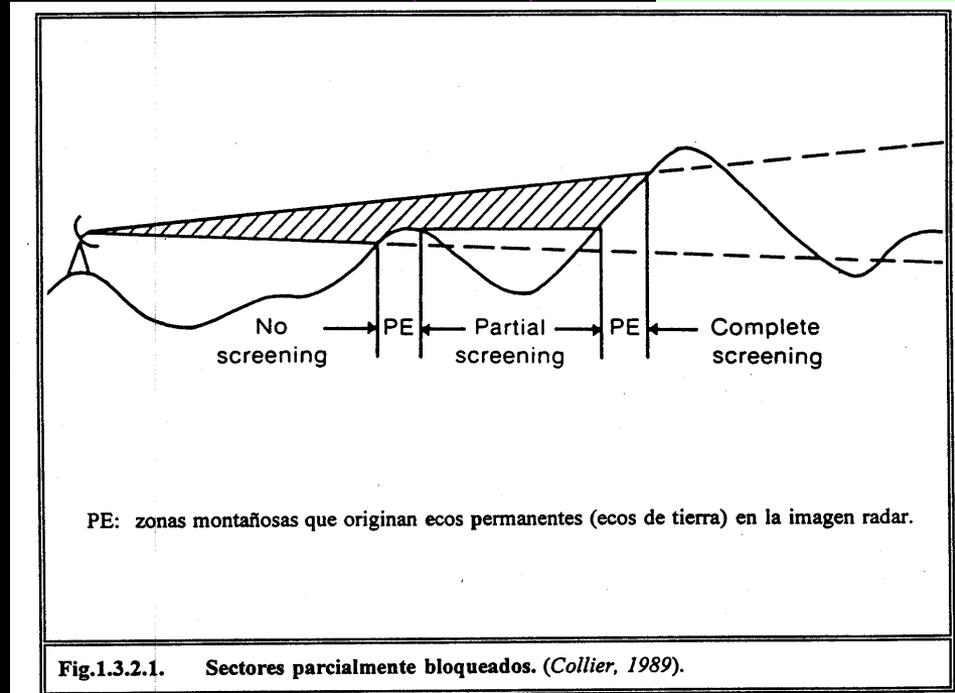
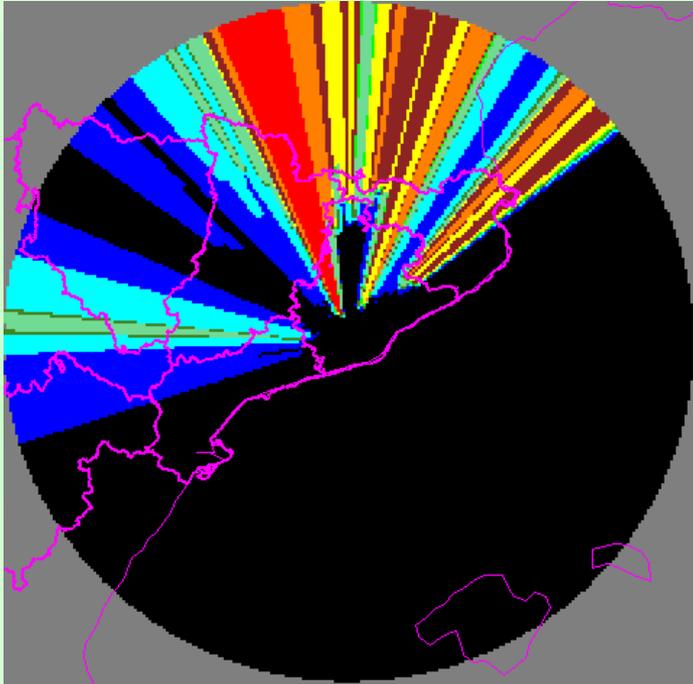
26 OCT 01299 072000

Z

R

Problemas en la interpretación de las imágenes Radar

Apantallamiento



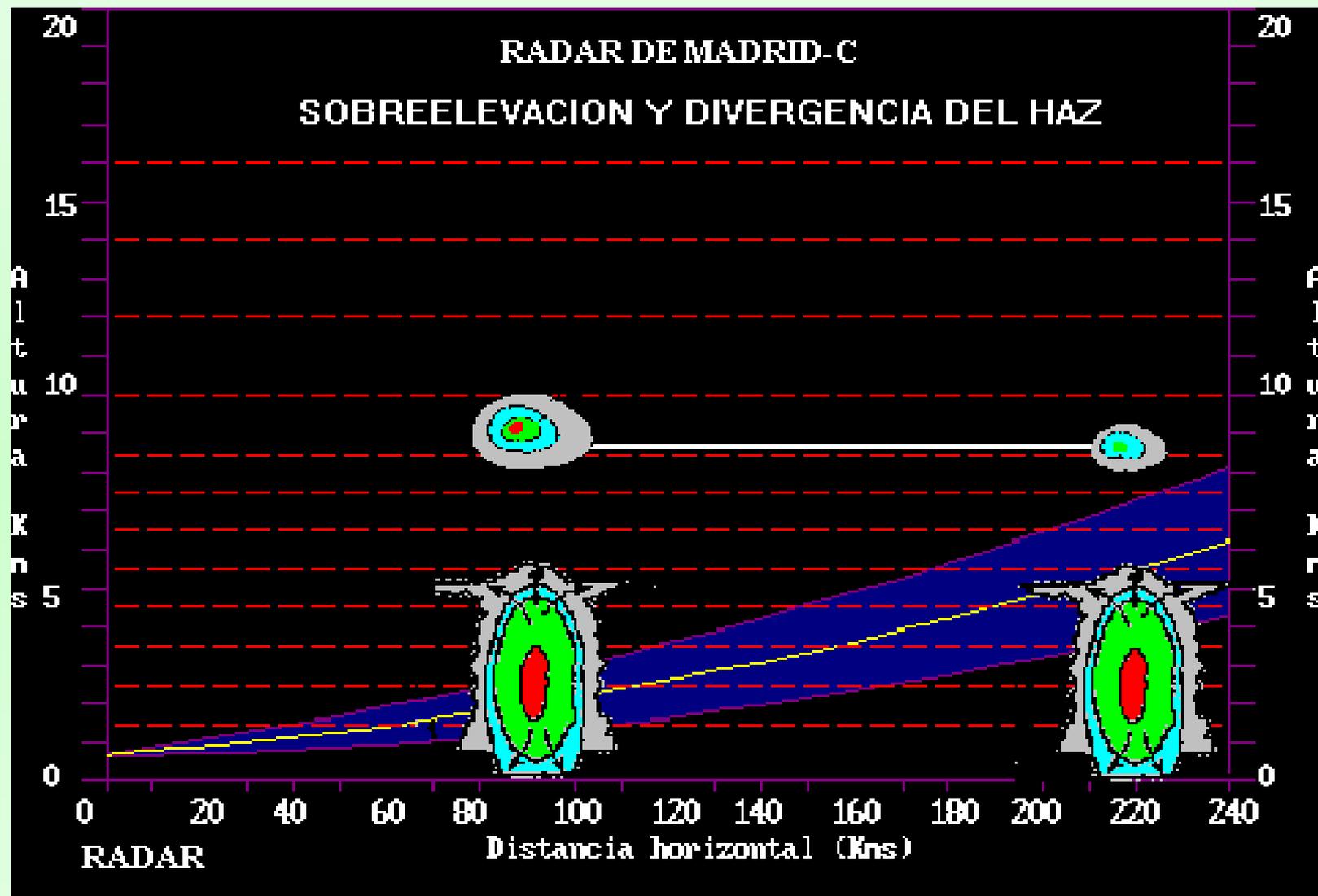
ELEVACION DEL HAZ

- Menor curvatura que el radio terrestre
- Para una elevación de $0,5^\circ$ a 200 Km la elevación es de 4000 m
- Estudios cuantitativos de precipitación únicamente a menos de 100-120 km



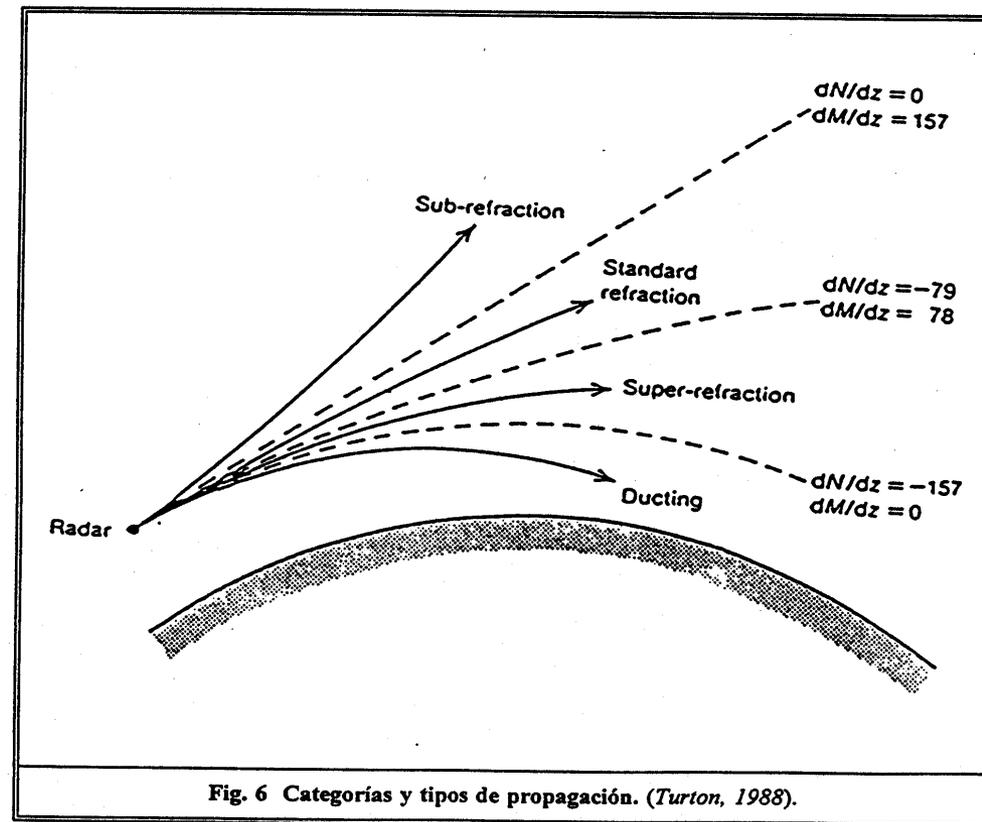
RADAR DE MADRID-C

SOBREELEVACION Y DIVERGENCIA DEL HAZ

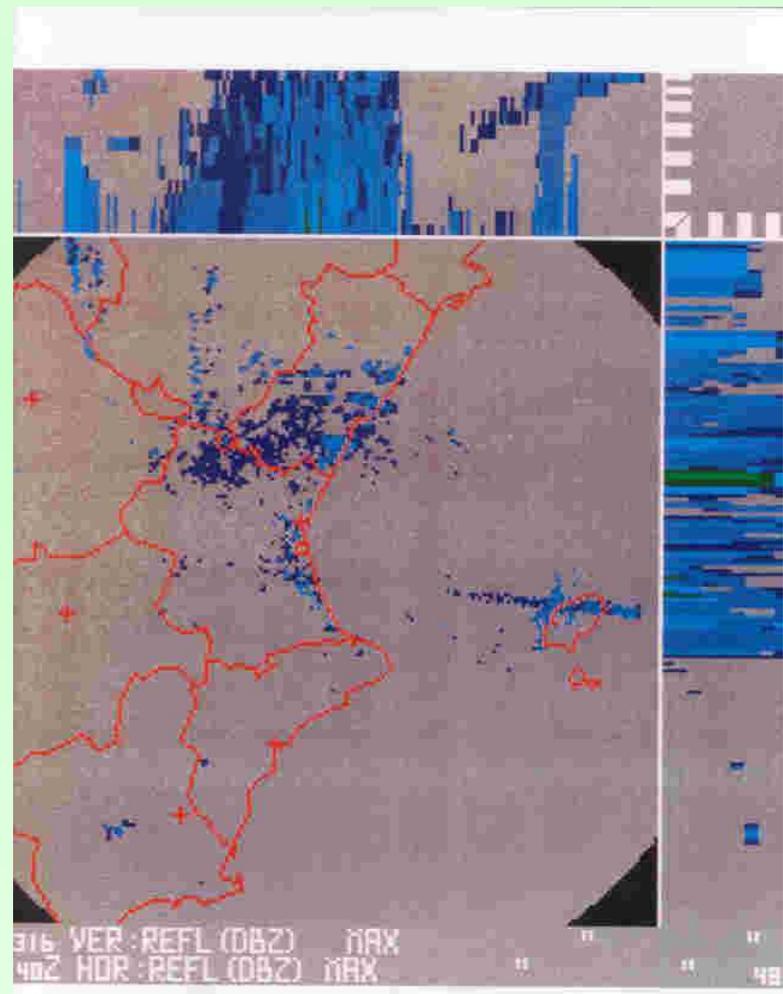


Propagación del haz

- Trayectoria: función dn/dz
- n : función de P , T , e
- Super-refracción
 - Capas de inversión
 - Rápido descenso de humedad con la altura
- Sub-refracción
 - Gradiente vertical próximo a adiabático
 - Aumento con la altura de la humedad

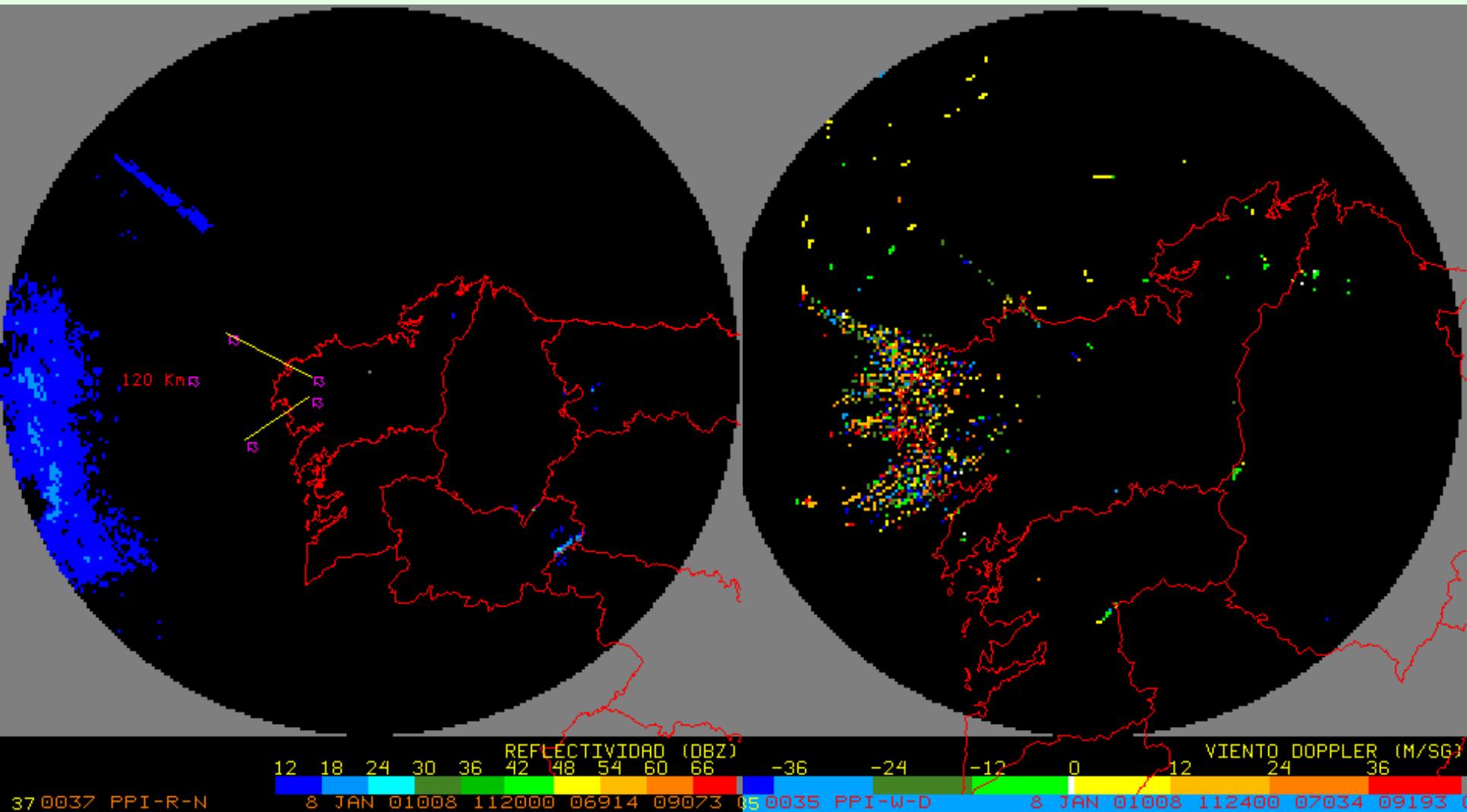


Propagación anómala por inversión



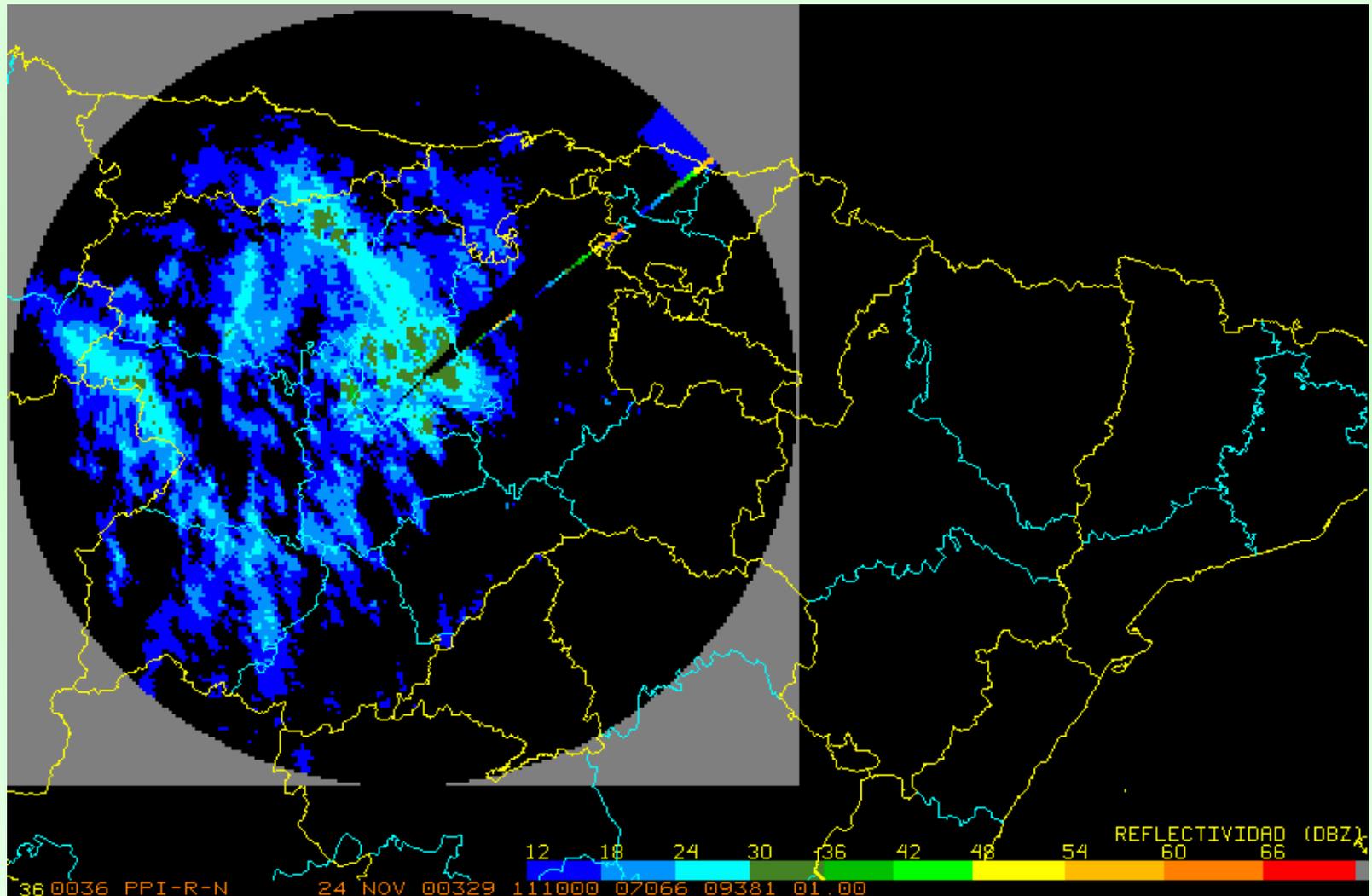
Ecos de segunda generación

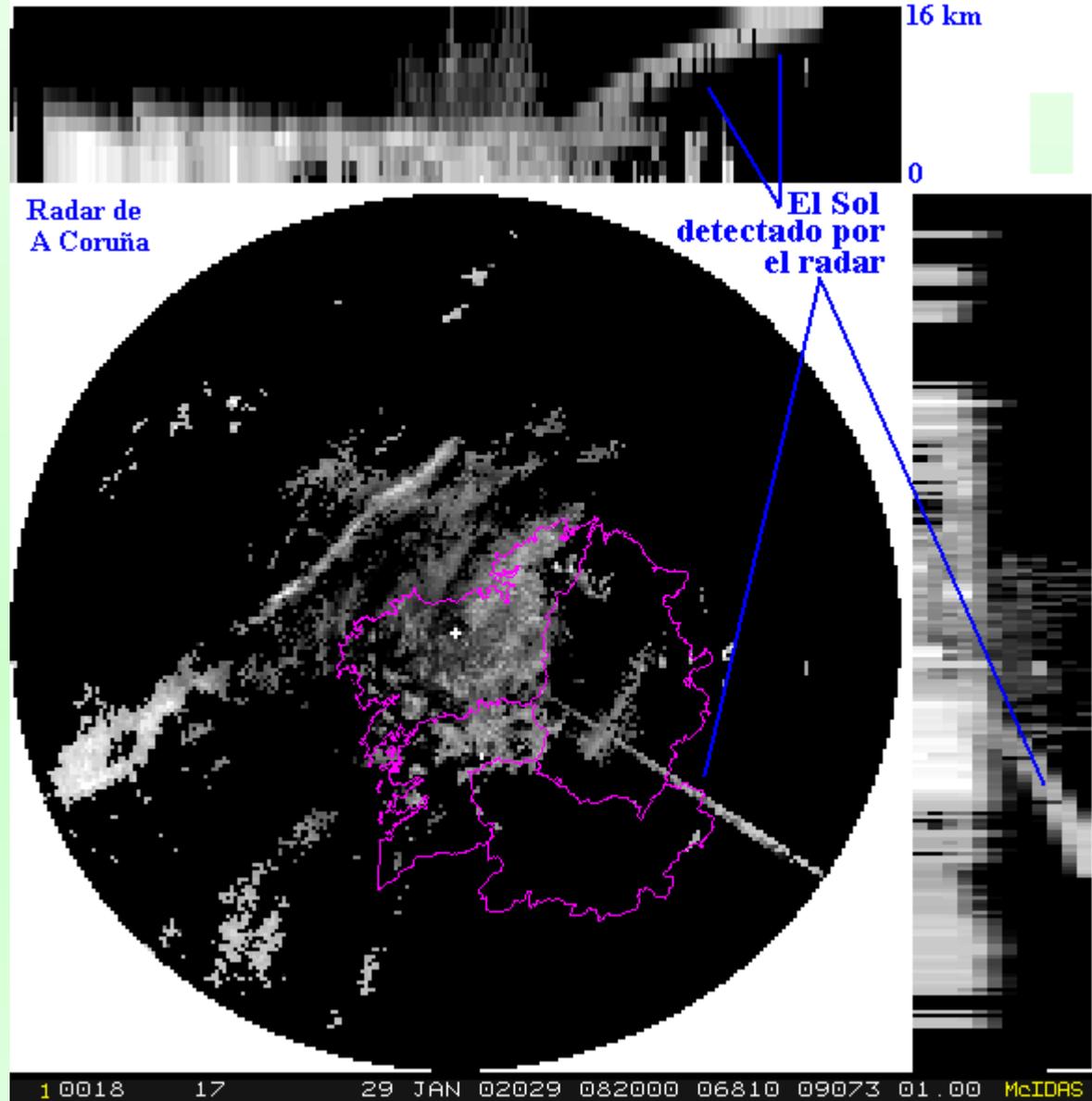
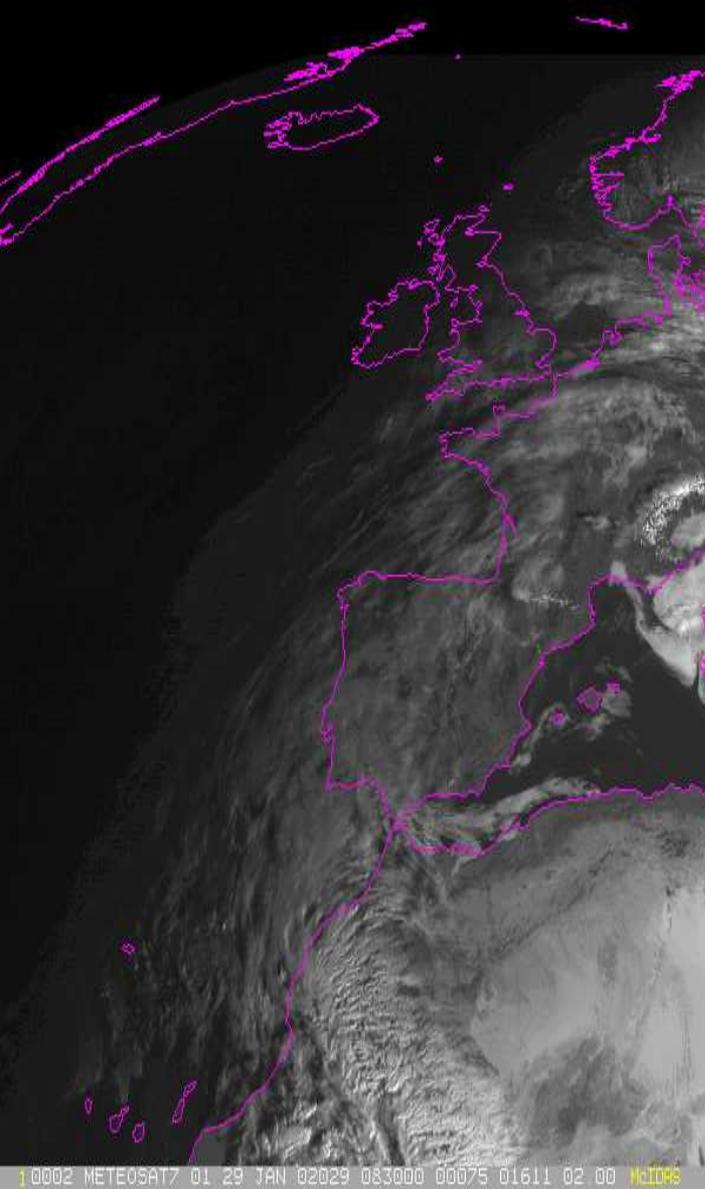
- Recepción durante el pulso $n+1$ de ecos procedentes del pulso n , situados más allá del alcance nominal del radar.
- Mas frecuentes en modo Doppler (menor alcance)



Ecos en abanico. Proceden de una estructura de precipitación fuera del alcance Doppler

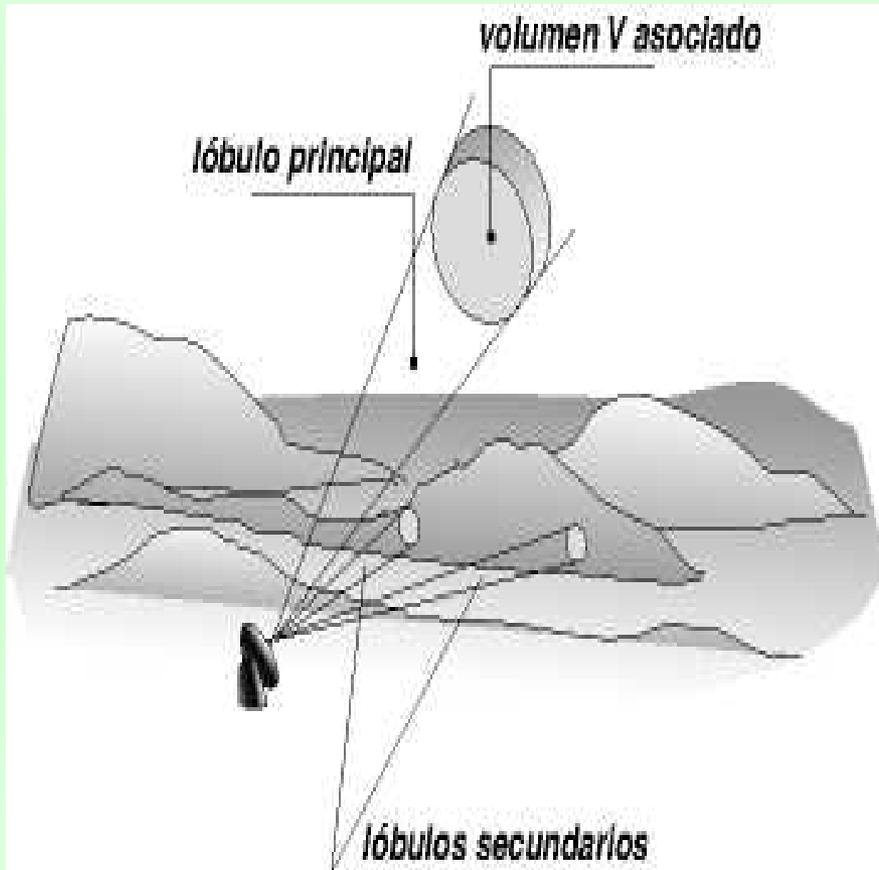
Interferencias



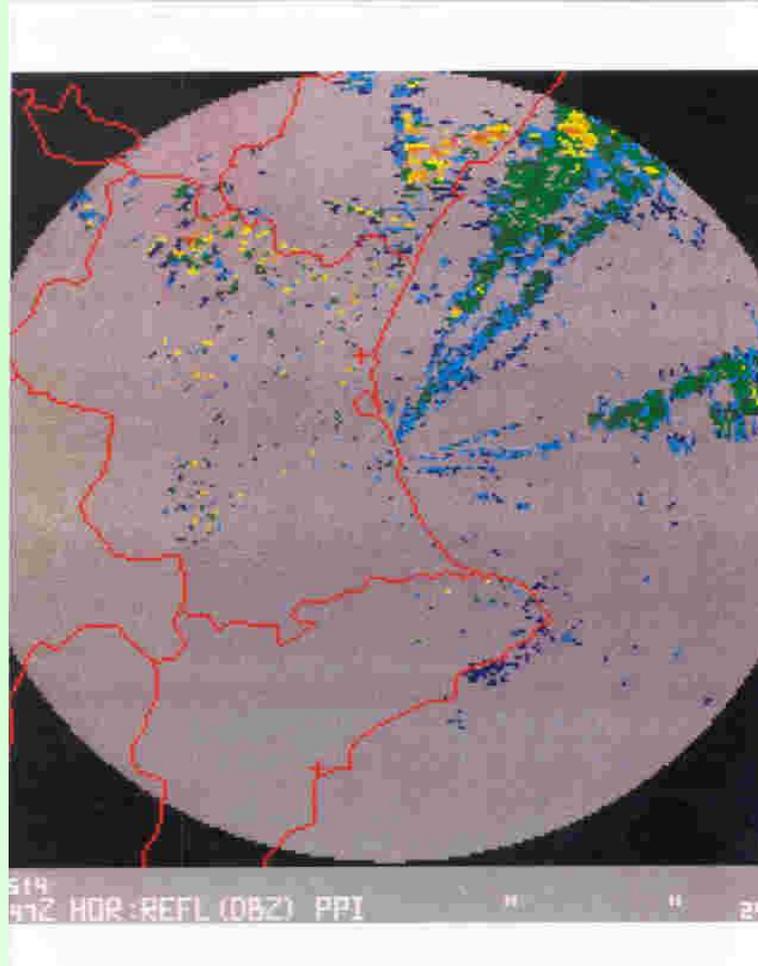


- Amanecer. Radar de La Coruña.

Lóbulos laterales



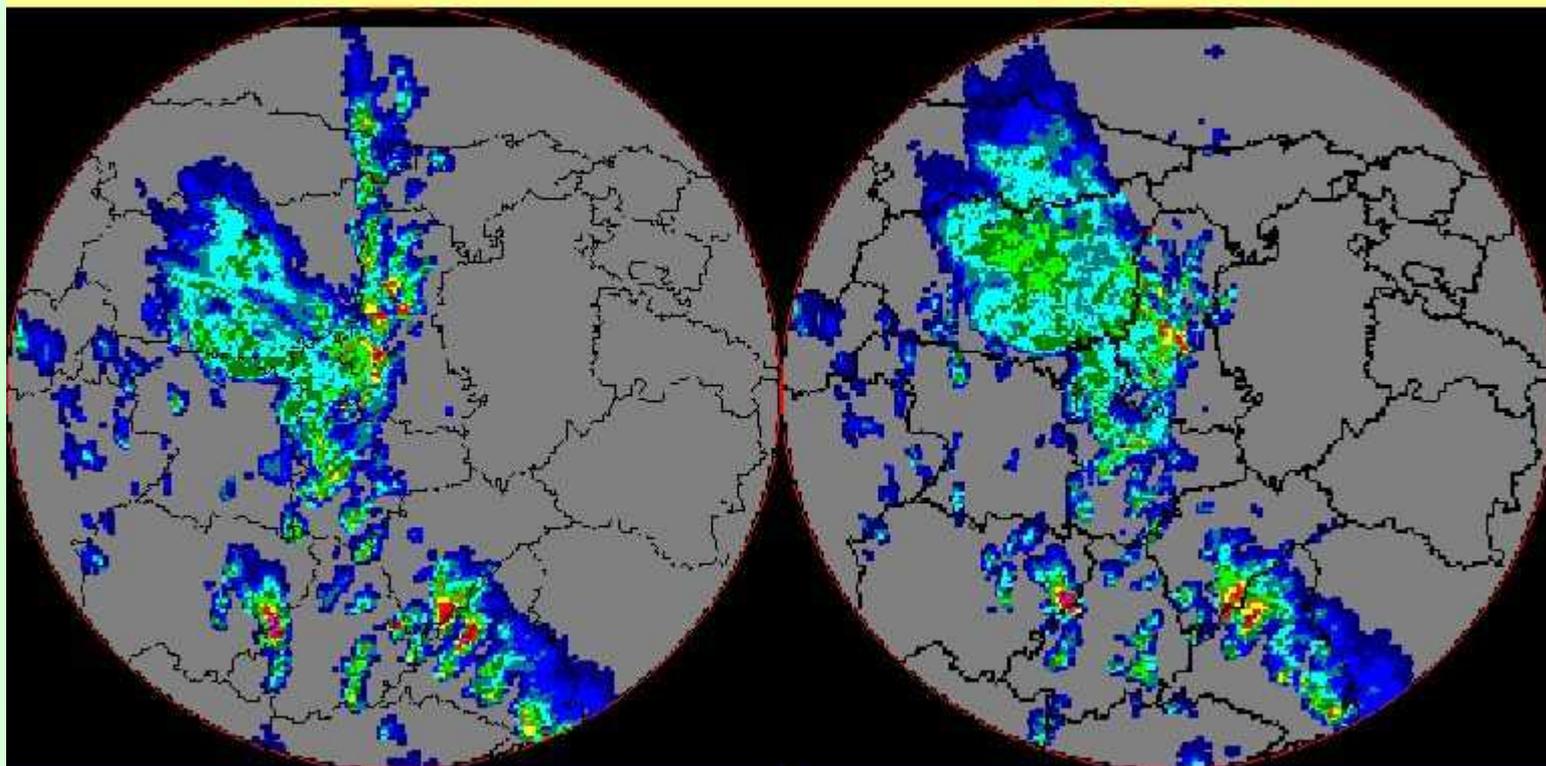
ECOS FALSOS POR LÓBULOS LATERALES



Atenuación de la señal

- Gases atmosféricos
 - Pequeña para $\lambda > 3\text{cm}$ y distancias $< 60\text{km}$
- Partículas de las nubes
- Precipitación
 - Muy influenciados por la λ
 - Más significativo para banda C que S
 - Cuando hay lluvia muy intensa sobre la superficie del radomo

ATENUACIÓN DE LA SEÑAL RECIBIDA POR PRECIPITACIONES EN EL RADAR

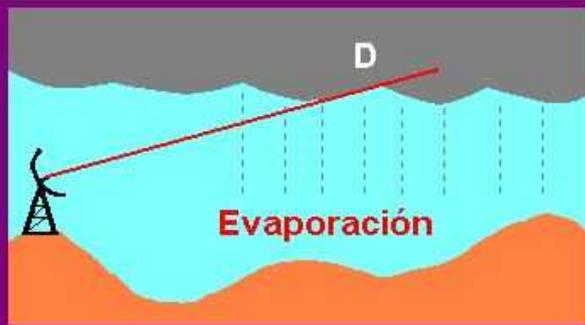


1 - junio - 1999 14:30 UTC

1 - junio - 1999 14:40 UTC

Evaporación. Cizalladura

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**

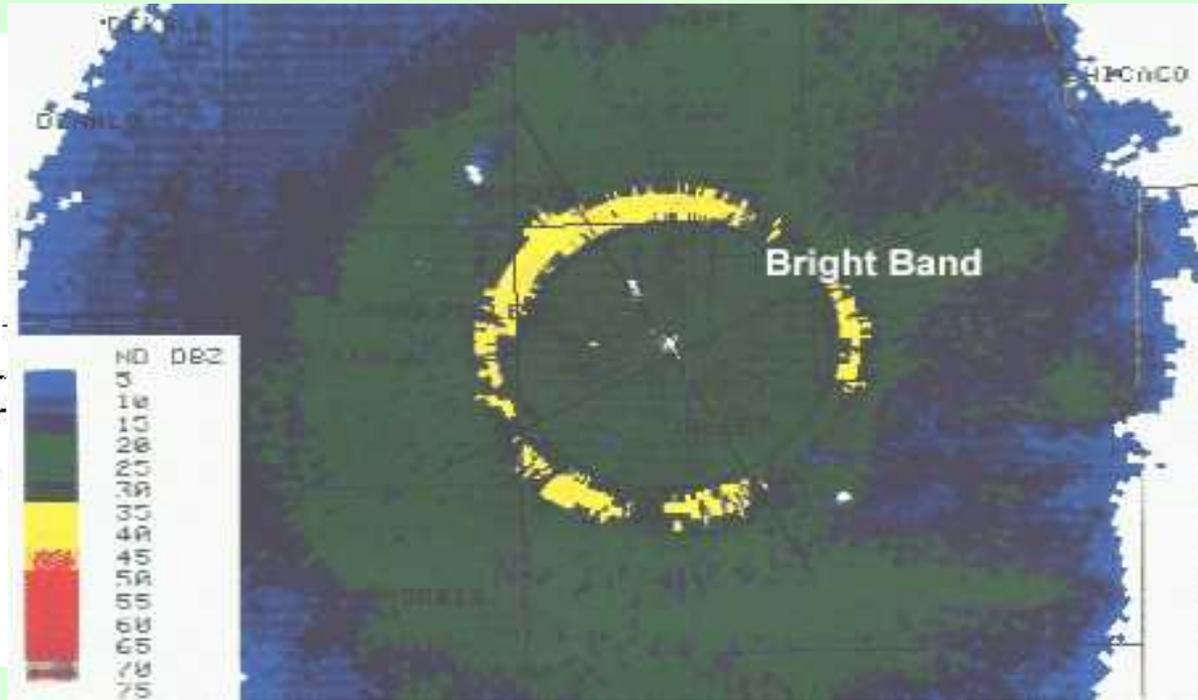
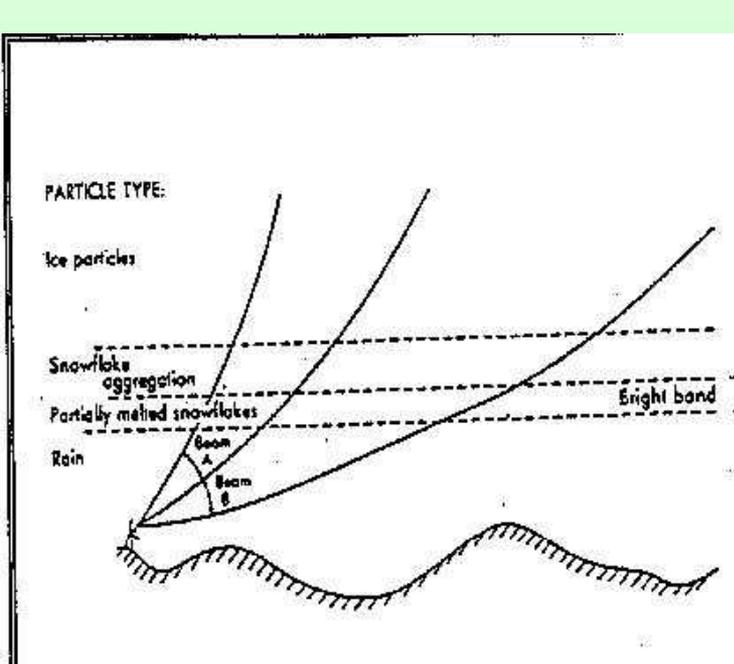
D = Precipitación débil

M = Precipitación moderada

Banda Brillante

- Uno de los principales problemas para aplicaciones hidrológicas
- K^2 para hielo 0,22; para agua 0,93
- Aparece en el inicio de la fusión
- Sobreestimaciones de 2 a 5 (5-10 dBZ)
- Espesor: 500m
- Máximo: 300 m por debajo del isocero
- Más frecuentes en las precipitaciones estratiformes
- Útil para predicción de nevadas a corto plazo

Banda brillante



Calibración

- Necesidad de una calibración periódica por variaciones de determinadas características técnicas del radar como:
 - Variación en la energía transmitida
 - Variaciones en la sensibilidad de los equipos de recepción.

Productos

- Modo Normal
- Modo Doppler
- Aplicaciones automáticas

Productos en modo Normal

- PPI
- CAPPI
- Reflectividad máxima
- Altura de los máximos de reflectividad
- Echotops
- VIL
- Precipitación acumulada

PPI

- Plan Position Indicator
- Presentación más frecuente
- Exploración más baja realizada por el radar
- No interpolada a un nivel de altitud constante. Bajo cerca del radar-Muy alto alejado
- Datos proyectados sobre una superficie plana

RADAR DE MADRID - C

$\alpha 1 = 0.5^\circ$ Altura 0.7 Km

CAPPI 11

Altura
Kms

Altura
Kms

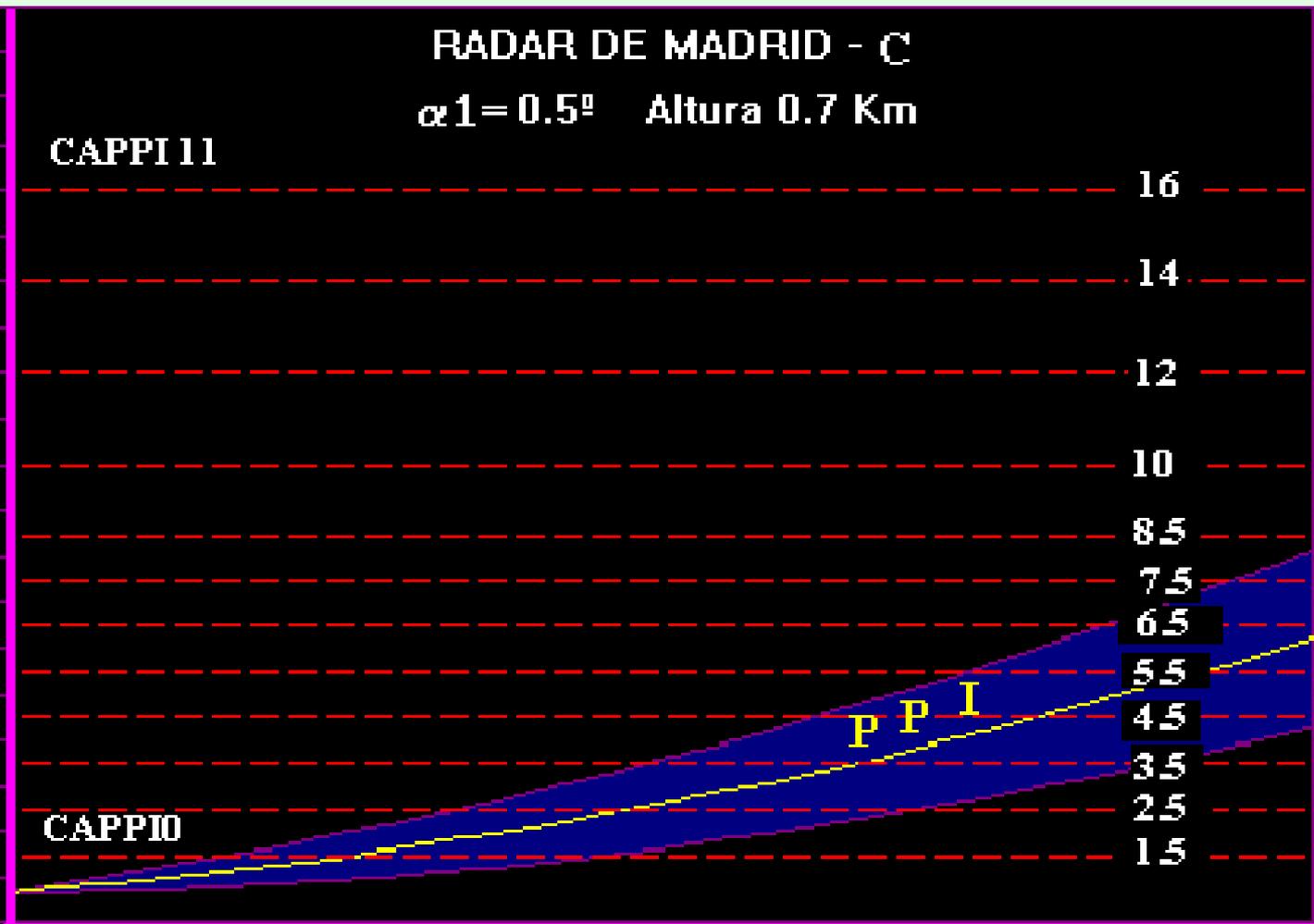
CAPPI 0

PP1

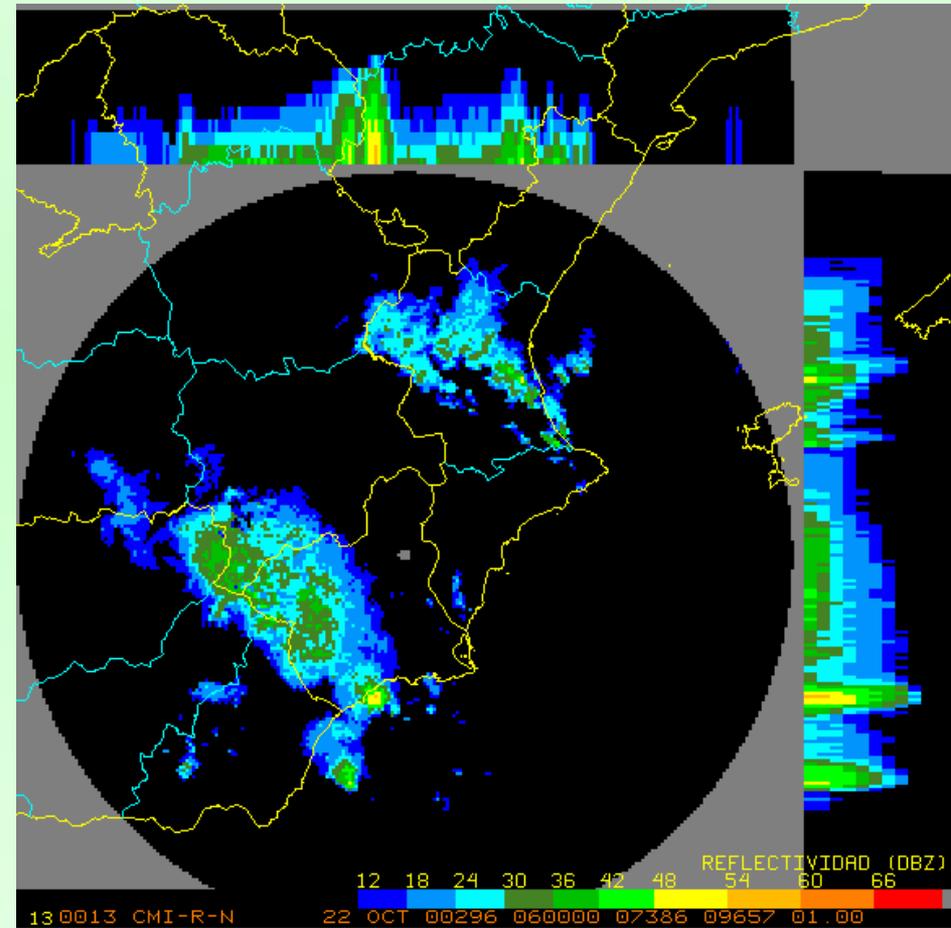
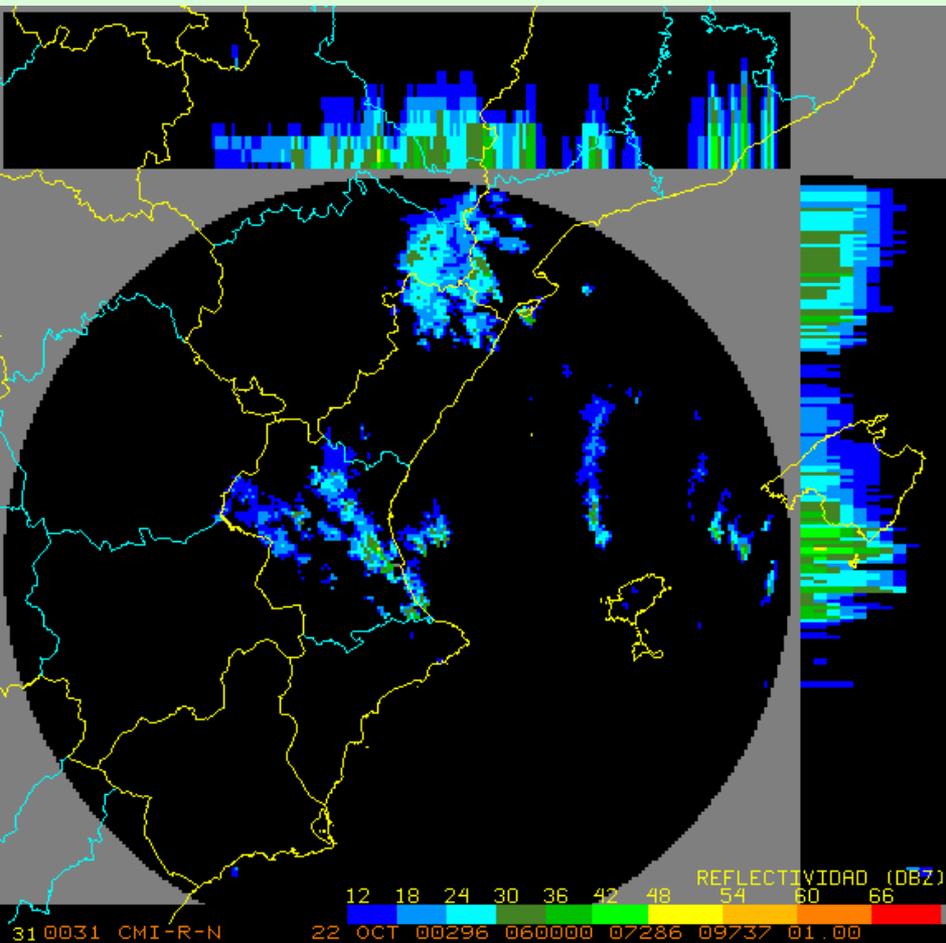
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240

Distancia horizontal (Kms)

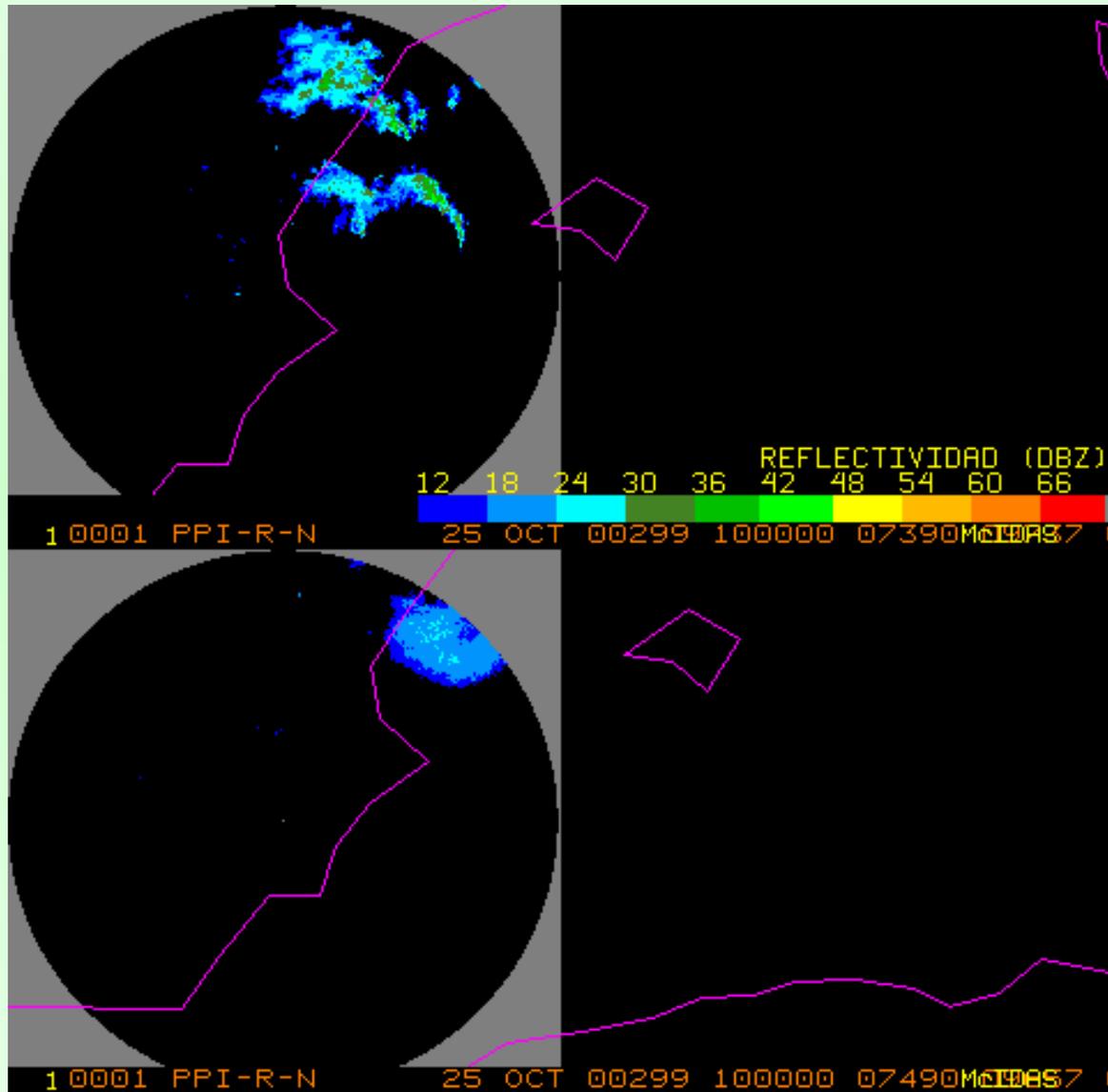
- 16
- 14
- 12
- 10
- 8.5
- 7.5
- 6.5
- 5.5
- 4.5
- 3.5
- 2.5
- 1.5



Problemas con la orografía

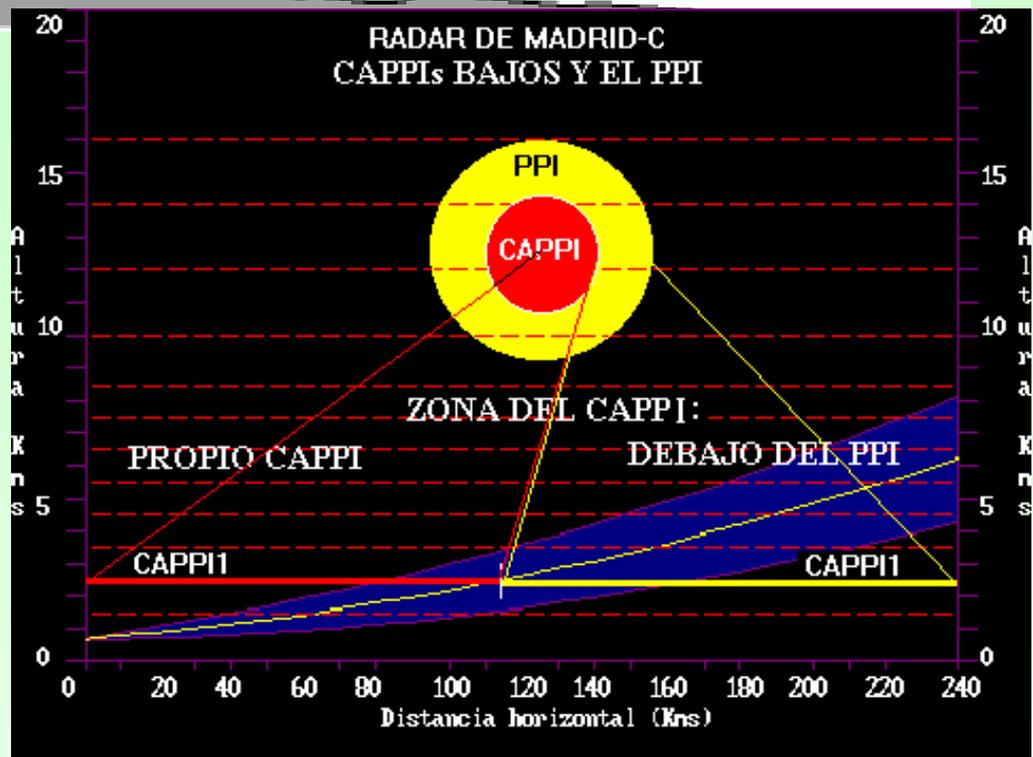
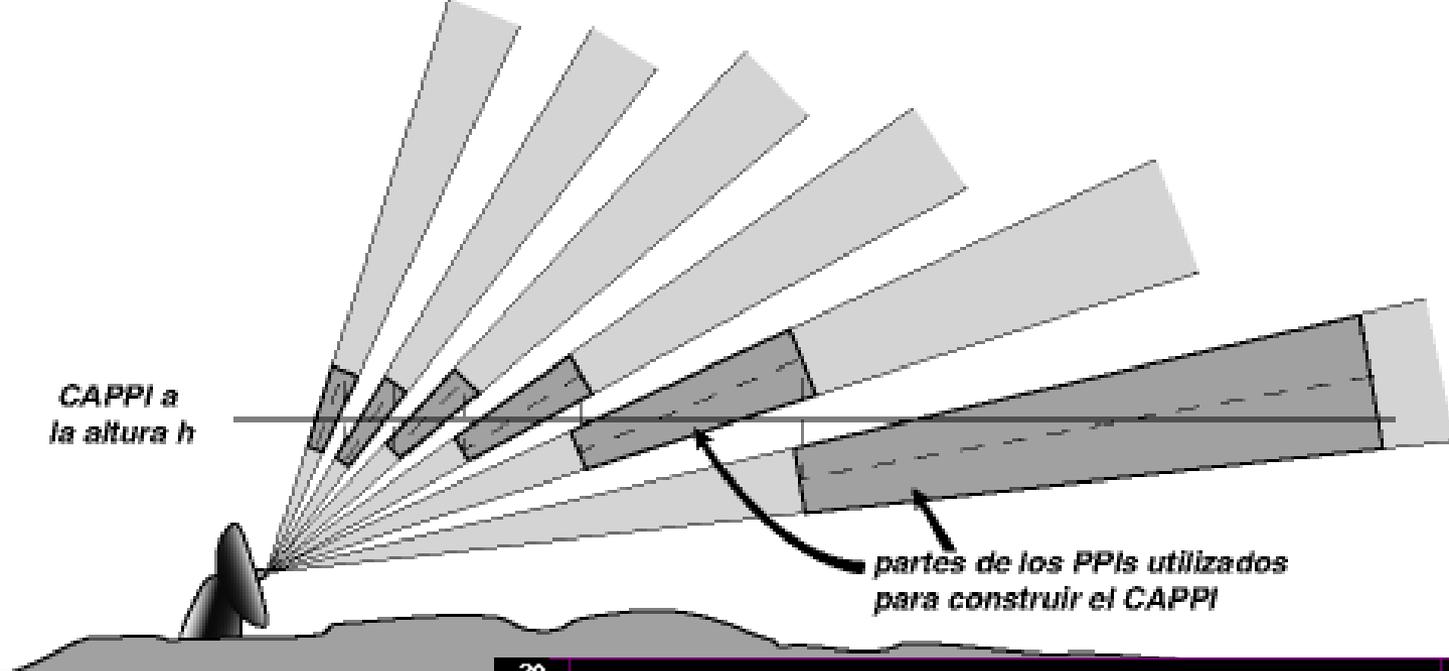


Efecto de la elevación y divergencia

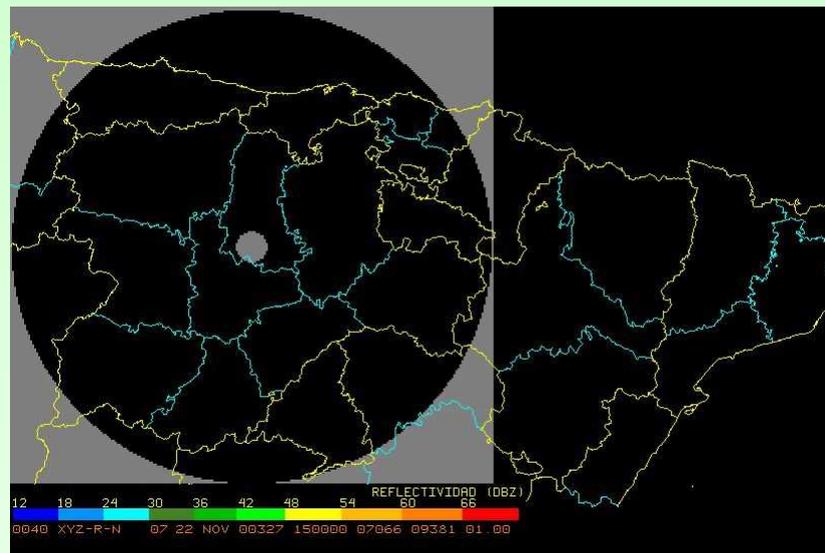
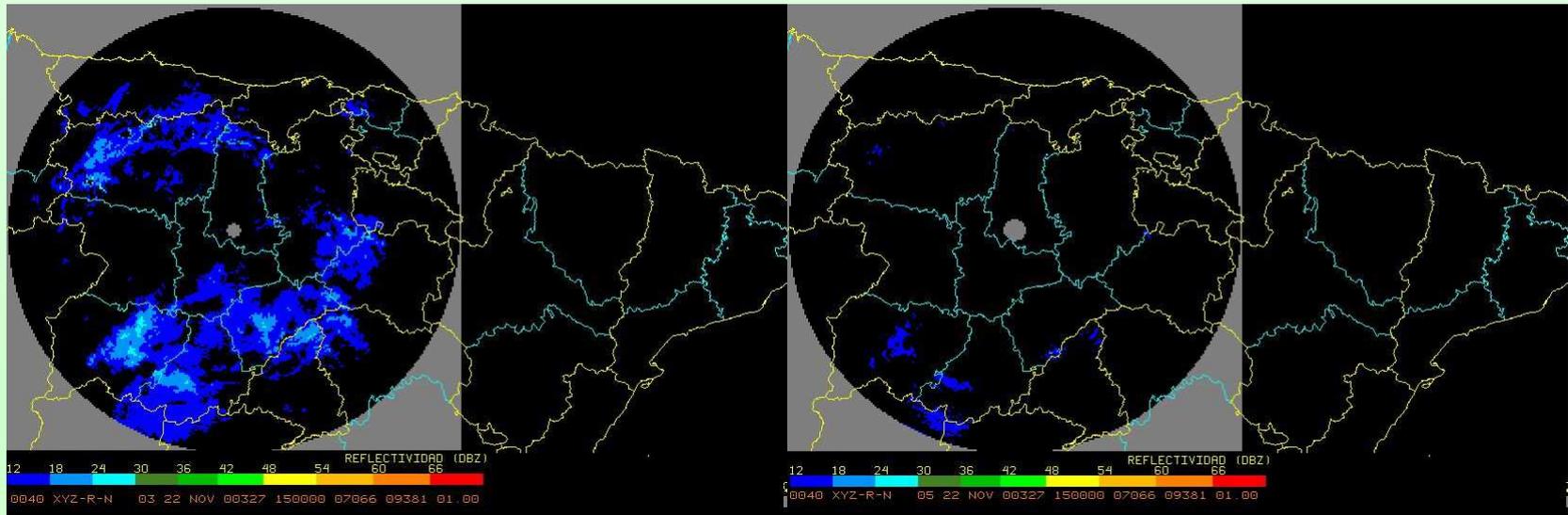


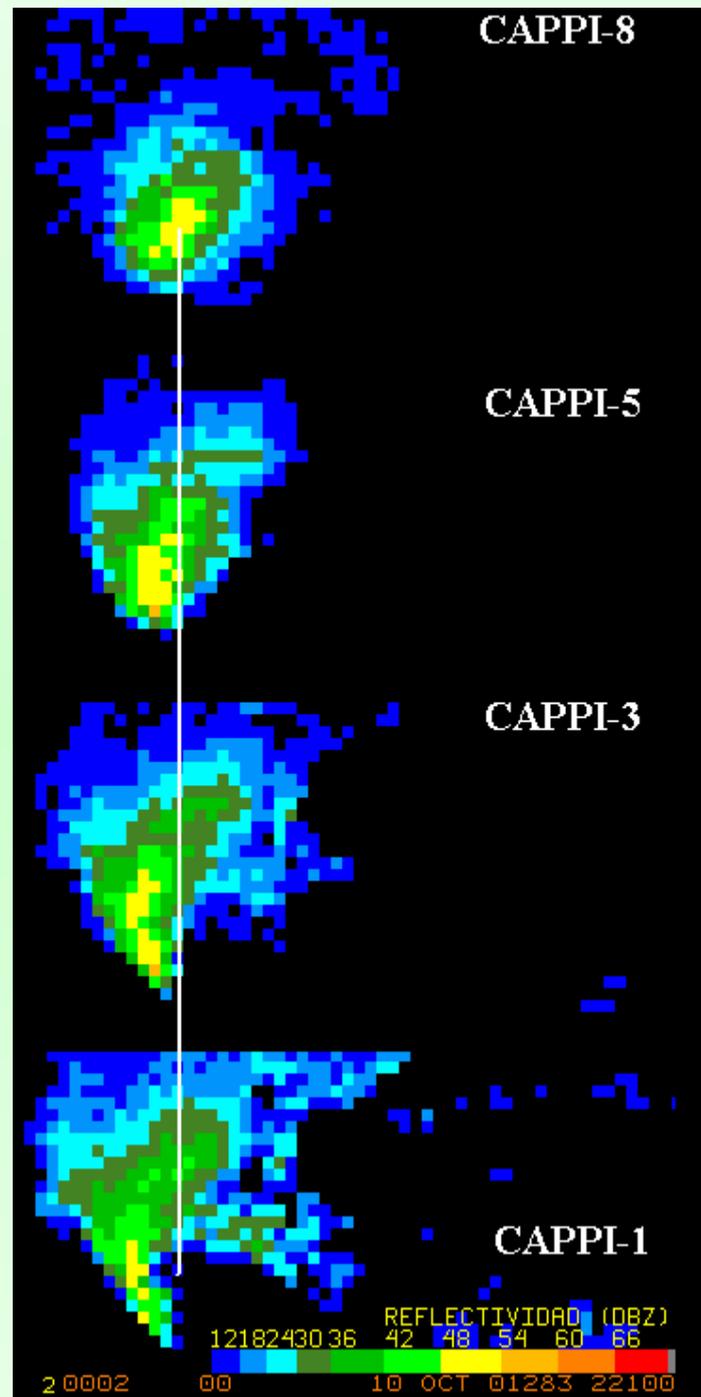
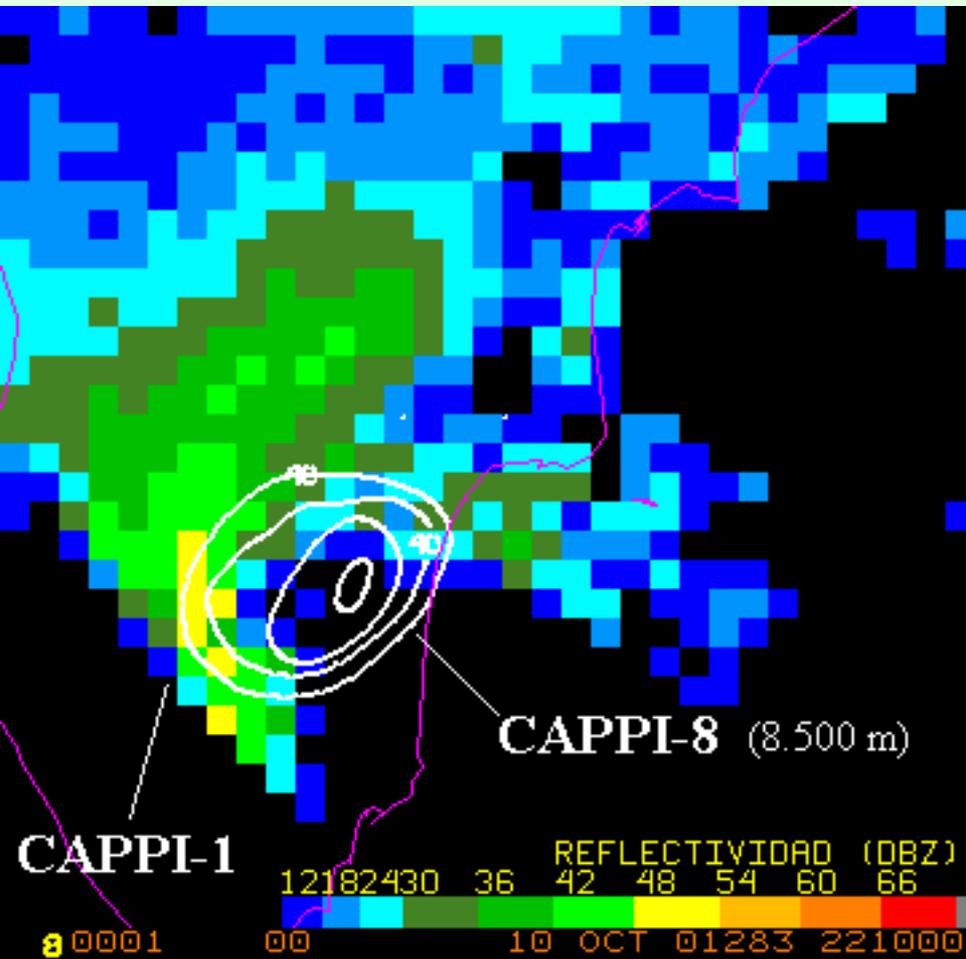
CAPPI

- Constant Altitud Plan Position Indicator
- Datos en un plano horizontal derivados del volumen polar
- Cortes horizontales de la troposfera a diferentes alturas



CAPPI 3,5-5,5-7,5. Nubosidad estratiforme



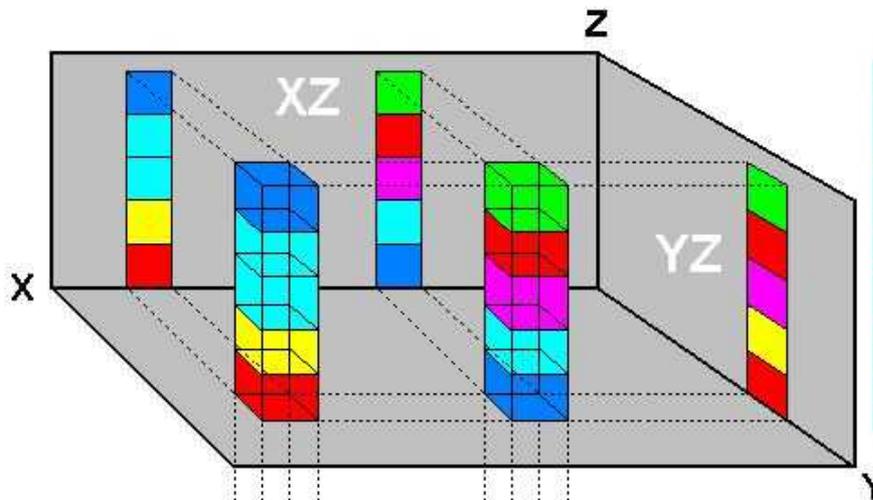


Estructura vertical.
Sistema convectivo

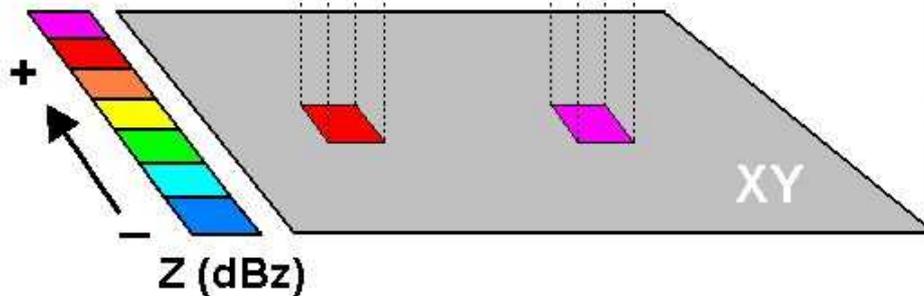
Reflectividad máxima

Zmáx Vertical

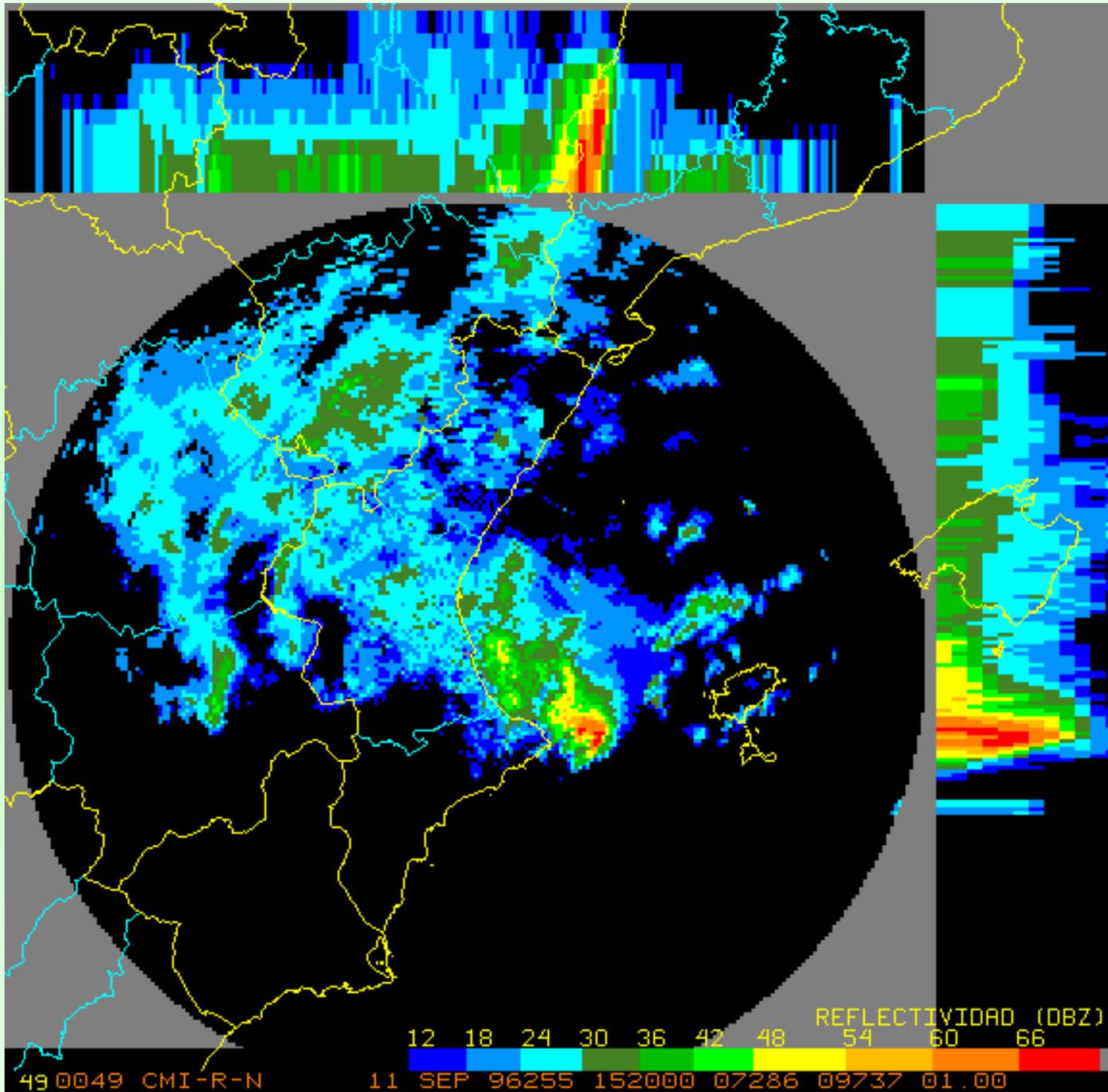
Cortes verticales



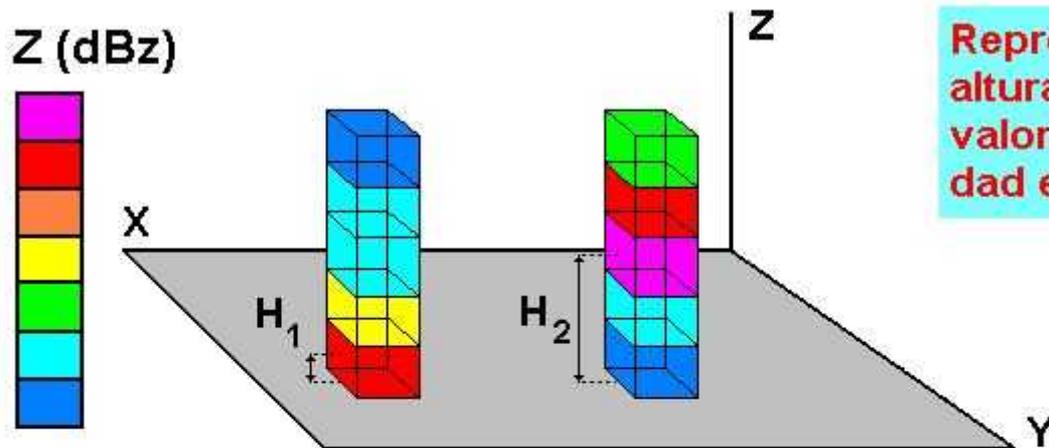
Proyección sobre el plano XZ de los máximos de reflectividad en la dirección Norte-Sur y sobre el plano YZ de los máximos de reflectividad en la dirección Oeste-Este.



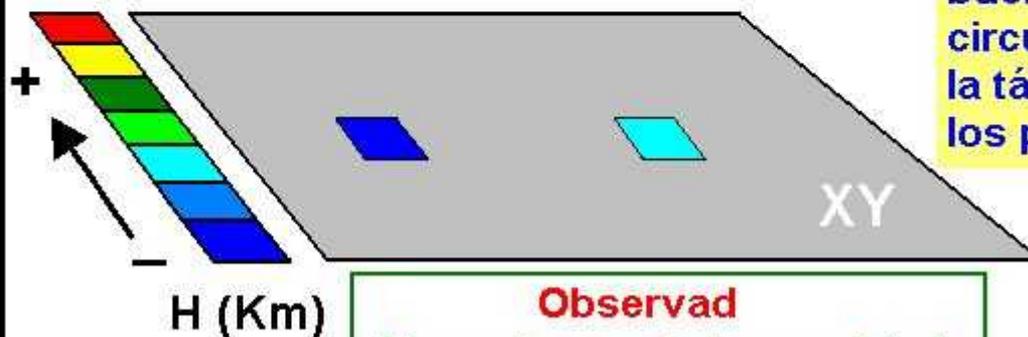
Importante: Las proyecciones de distintos ecos pueden solaparse e inducir confusión.



Hmáx Altura del máximo de reflectividad



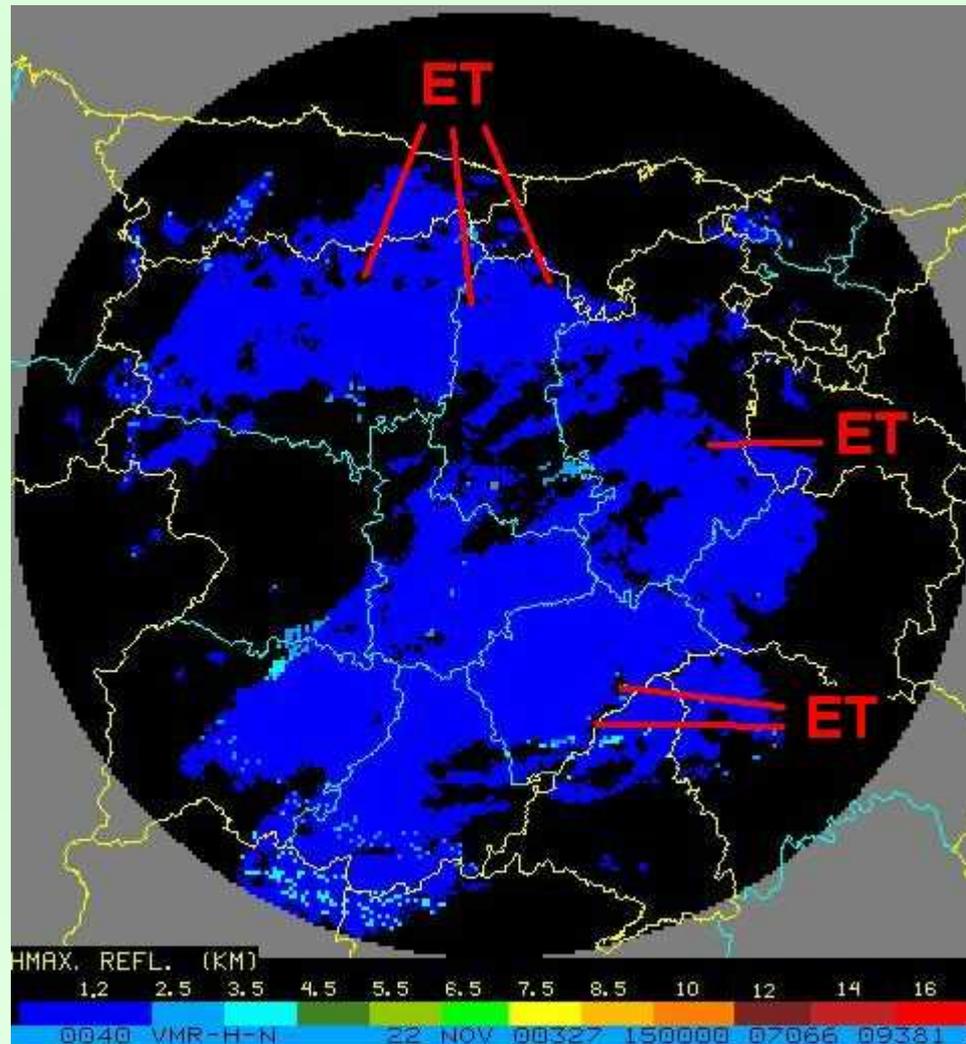
Representación plana de la altura a la cual se alcanza el valor máximo de reflectividad en cada punto (x,y) .



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

Hmax en situación frontal



Hmáx ALTURA MÁXIMO DE REFLECTIVIDAD

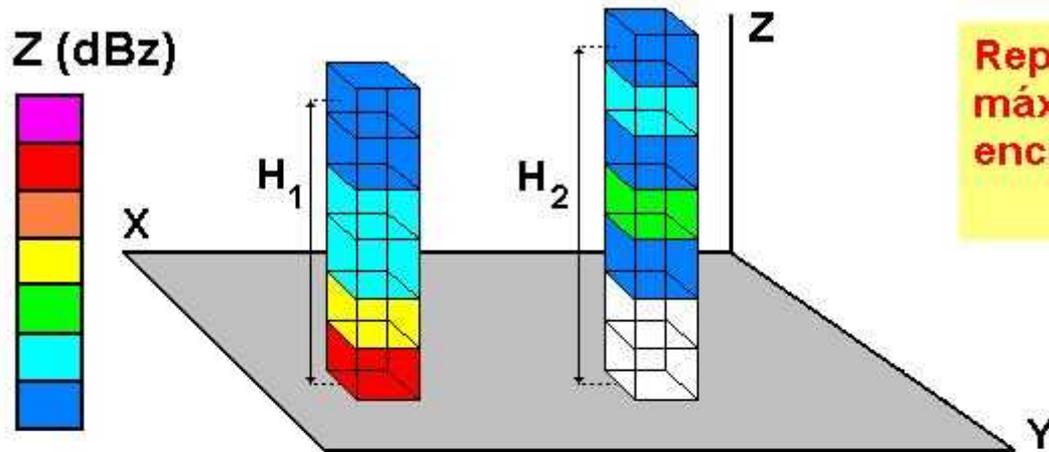
Estas precipitaciones corresponden a una situación frontal:

- 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**).

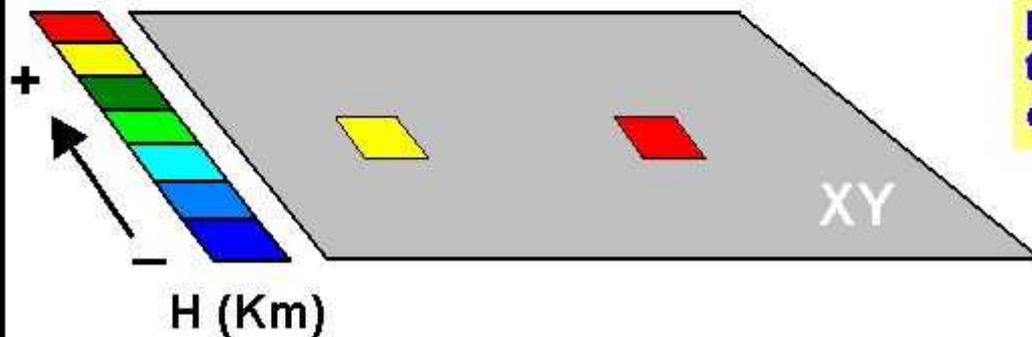
En el caso de **tormentas** cuanto más **altos** sean los valores más **intensas** serán las **corrientes ascendentes**.

Echotops Máxima altura de una Z de referencia

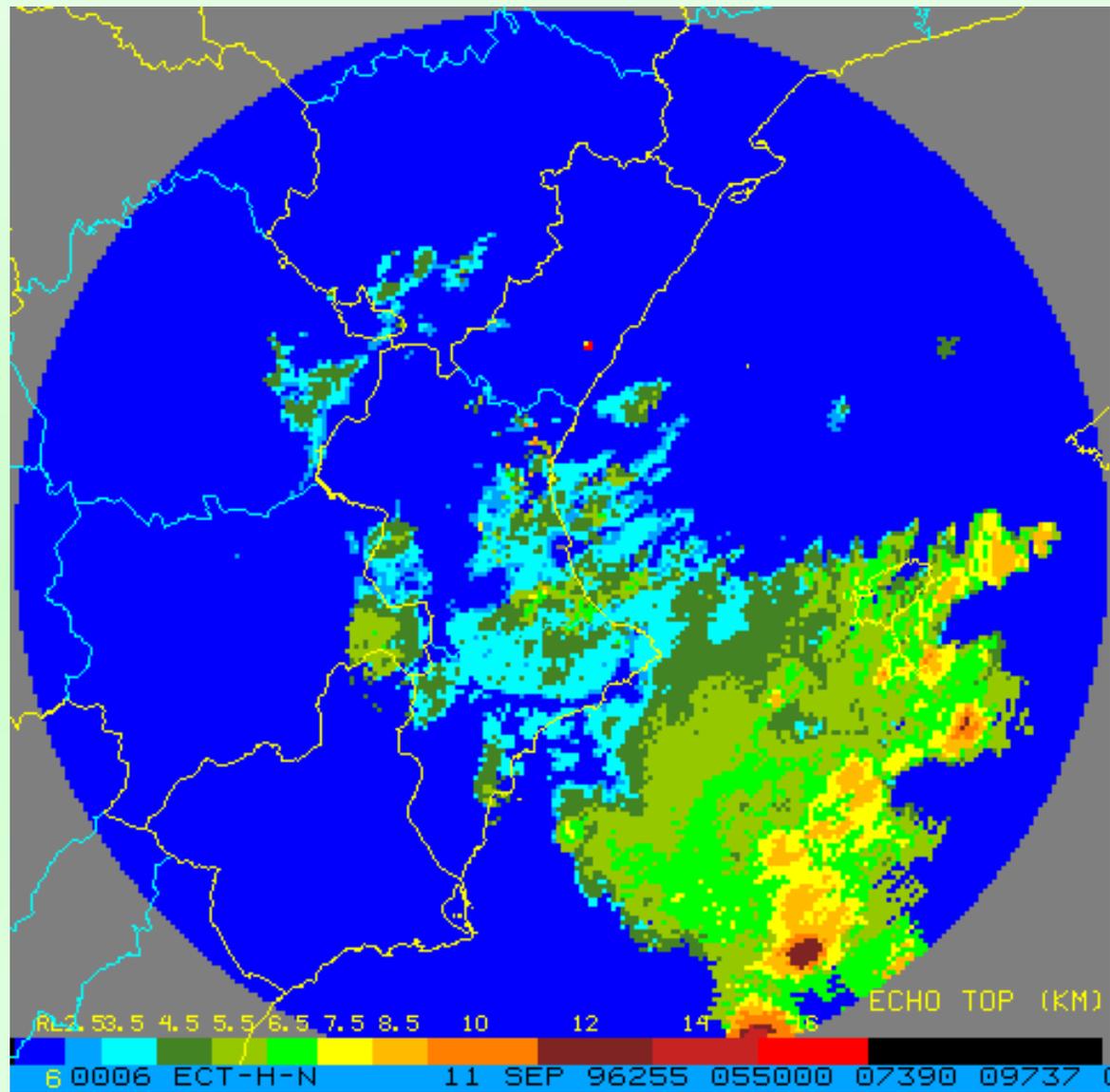


Representación plana de la máxima altura a la que se encuentran los ecos de:

12 dBz

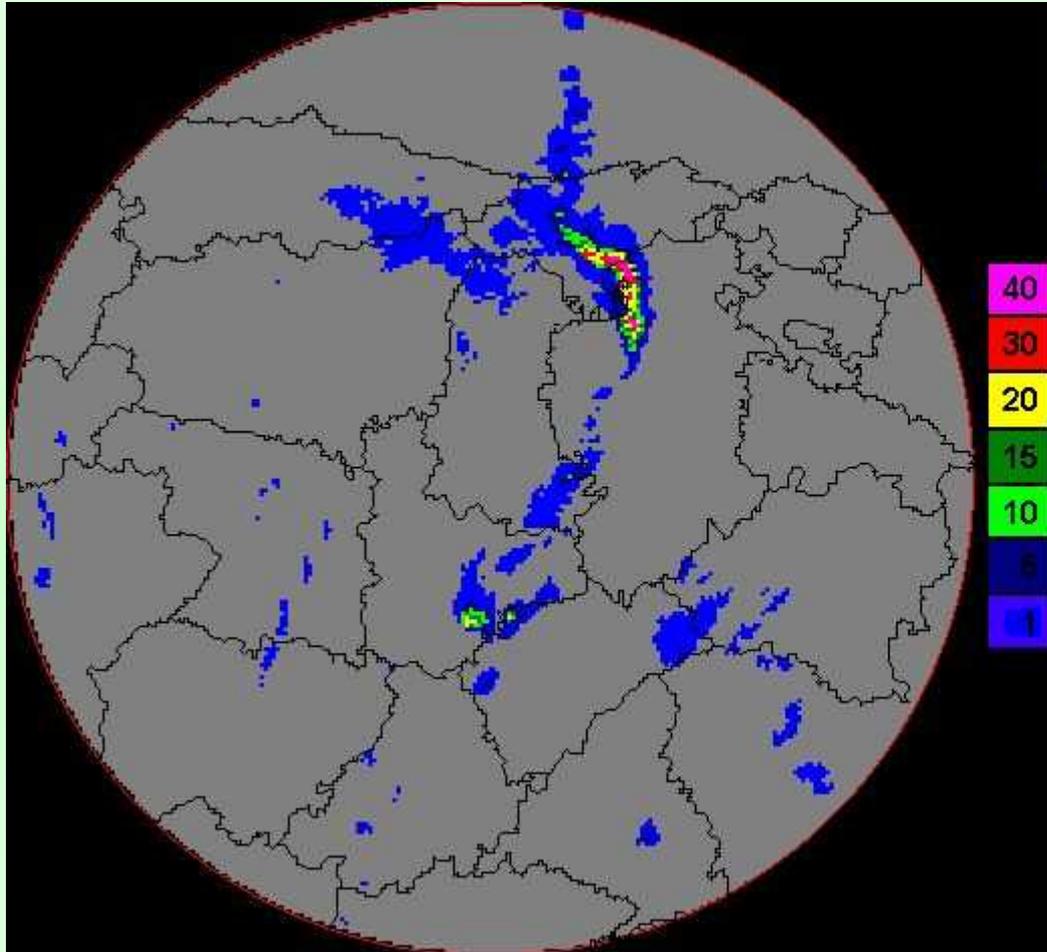


Cómo en el caso $H_{\text{máx}}$ pueden aparecer estructuras concéntricas al radar no meteorológicas.



VIL (Vertical Integrated Liquid)

- Medida radárica del contenido de agua líquida de una célula por unidad de área (Kg/m^2)
- $$\text{VIL} = \text{SUM } 3.44 \cdot 10^{-6} [(Z_i + Z_{i+1})/2]^{4/7} dh$$
 - SUM = integral en altura desde la base del radar
 - $Z_i + Z_{i+1}$ reflectividades en la capa de espesor dh
- Mayor contenido en agua líquida a mayor altura \Rightarrow mayor VIL
- Es la masa de precipitación líquida suspendida sobre la unidad de área de una nube



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.

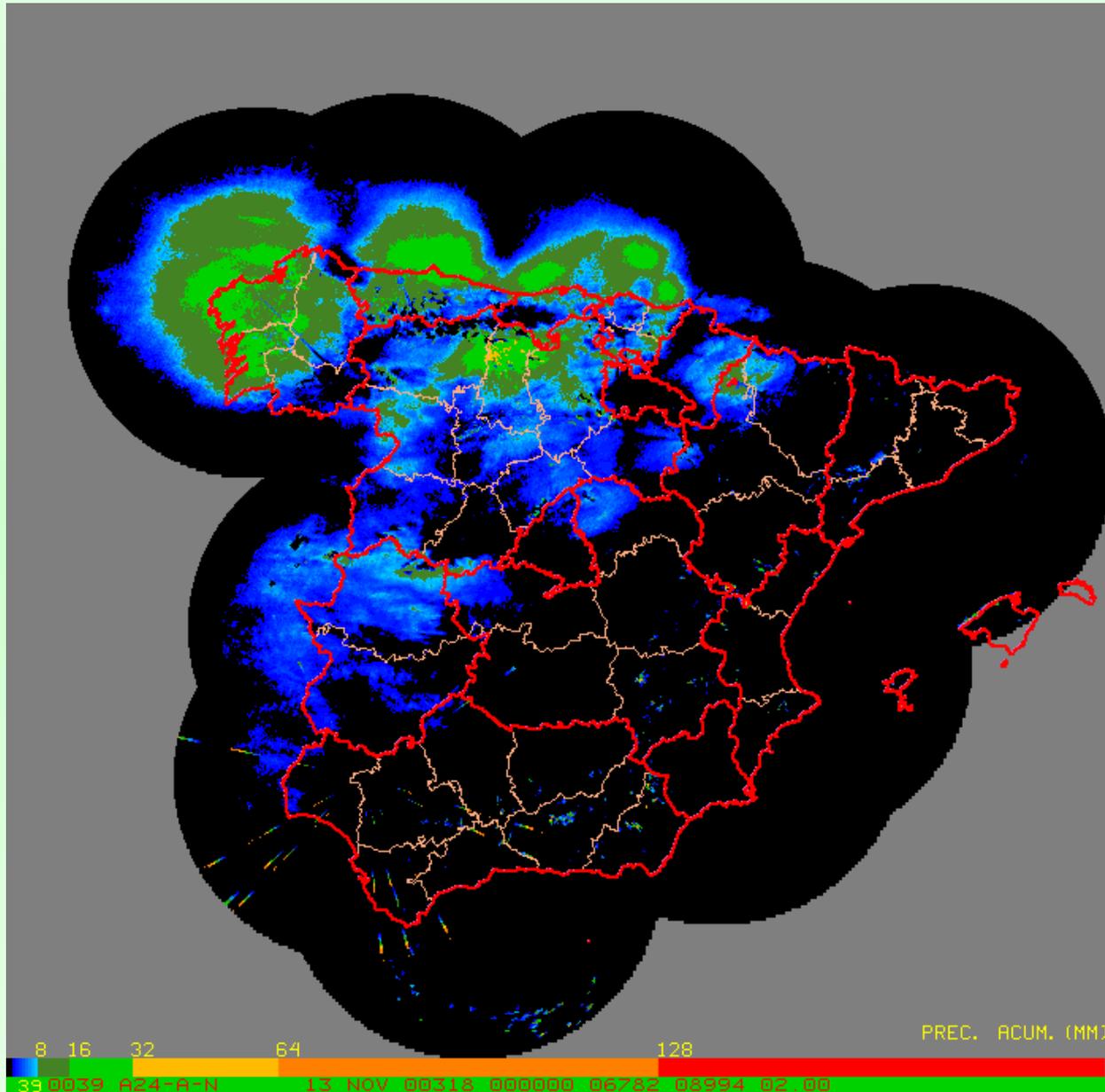
A mayor VIL, mayor contenido de agua y fenómenos más adversos en superficie.

Las unidades son Kg/m^2 . Sería el peso del agua sobre la unidad de superficie.

Precipitación acumulada

- CAPPI más bajo no afectado por ecos de tierra
- Relación de Marshall-Palmer
- Productos operativos INM:
 - Día civil (0-24)
 - Día pluviométrico (07-07)
 - Periodos sinópticos (0-6; 6-12; 12-18; 18-24)
 - Precipitaciones horarias

Problemas en zonas alejadas del Radar

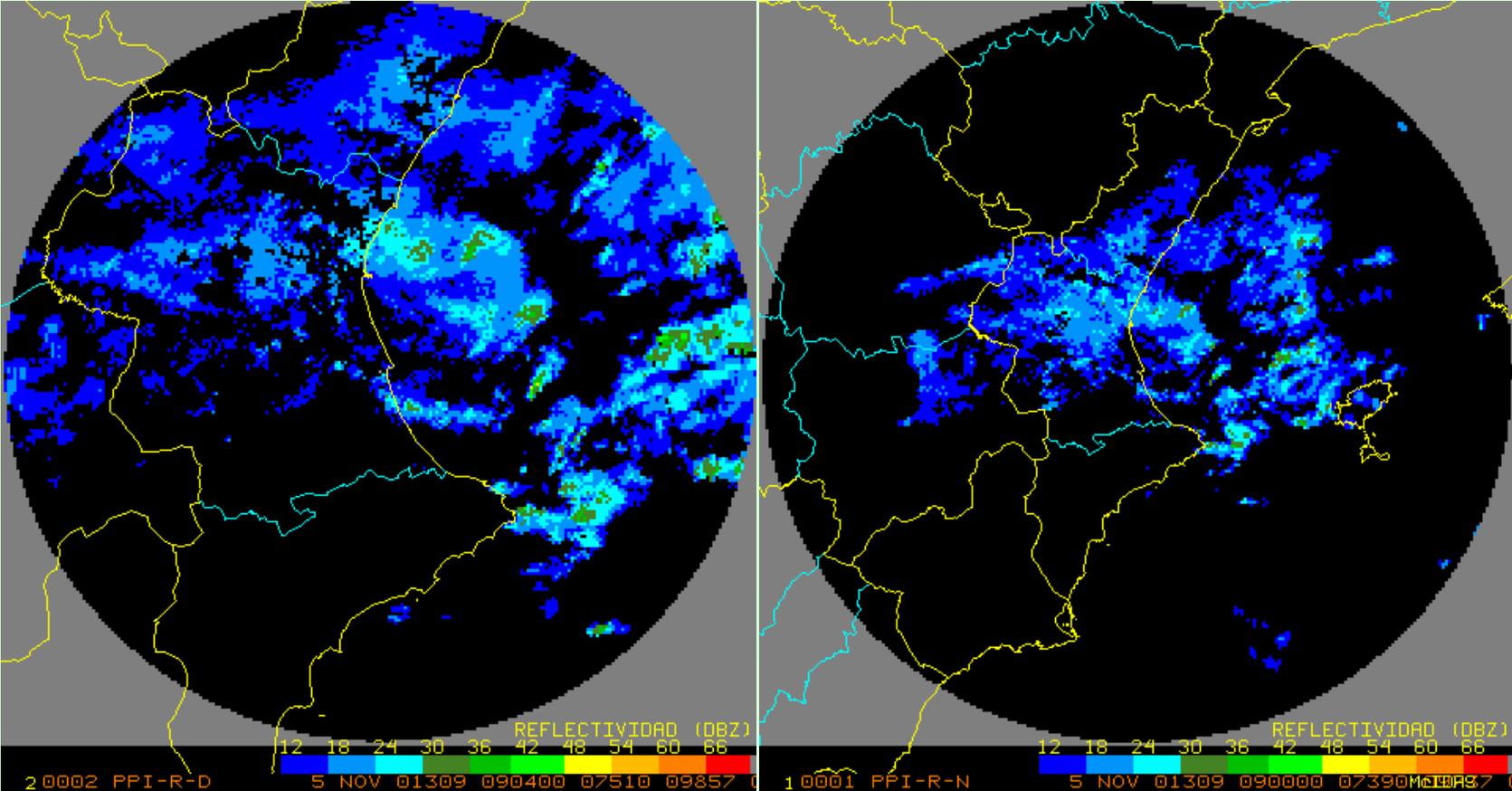


PRODUCTOS EN MODO DOPPLER

TECNOLOGÍA DOPPLER

- Mayor resolución espacial
 - INM: 1 x 1 km
- Menor alcance
 - INM: 120 km
- Información sobre parámetros no relacionados con la precipitación como viento o turbulencia

Comparación Doppler-Normal



Imágenes de viento Doppler

En las imágenes radar de viento se representa la componente del viento en la dirección del radar (**componente radial**).

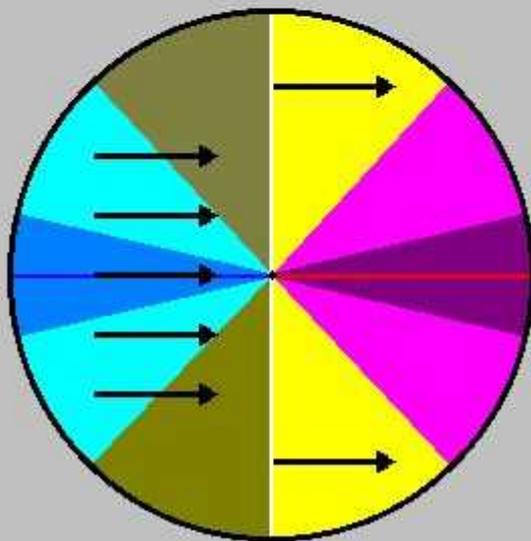
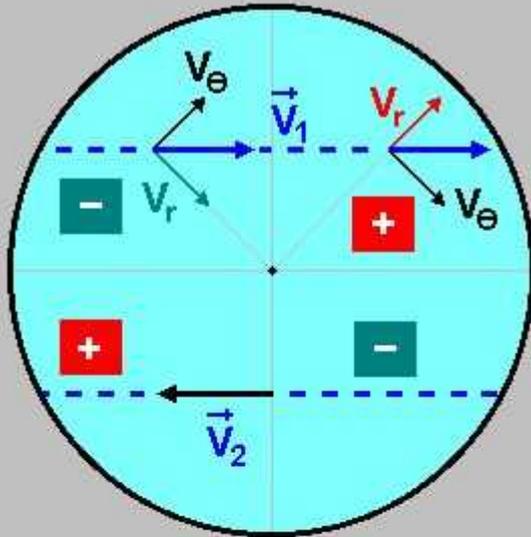
Los **valores negativos** indican que la componente radial **apunta hacia el radar** y los **positivos** que se dirige **hacia afuera**.

Para el radar, la velocidad de un viento como el \vec{V}_2 , será cero.

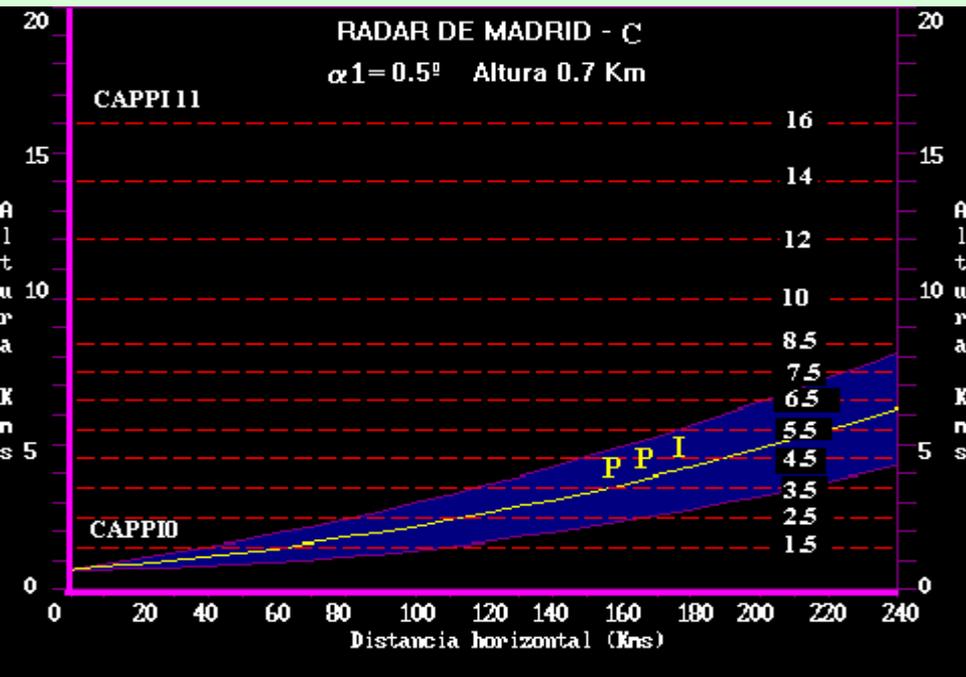
Podemos generalizar esto último:

- **la dirección del viento** será perpendicular a la **línea de velocidad cero**.
- **el sentido**, de valores negativos a positivos

En la imagen 2 vemos la presentación para un **viento uniforme del oeste**: tendríamos un **máximo** en el eje **Oeste - Este** y un **mínimo** en el eje **Norte - Sur**.

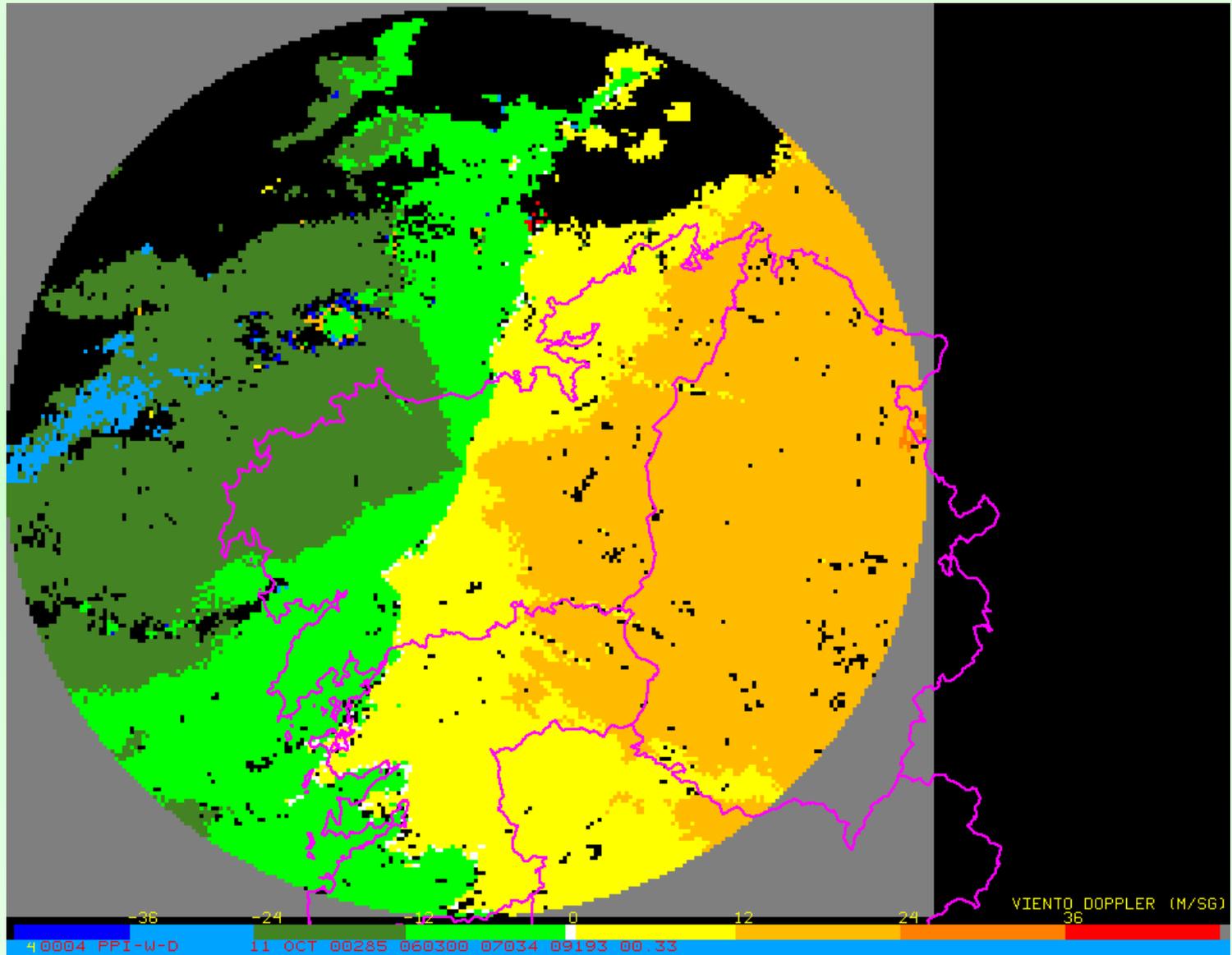


Interpretación de los datos de viento

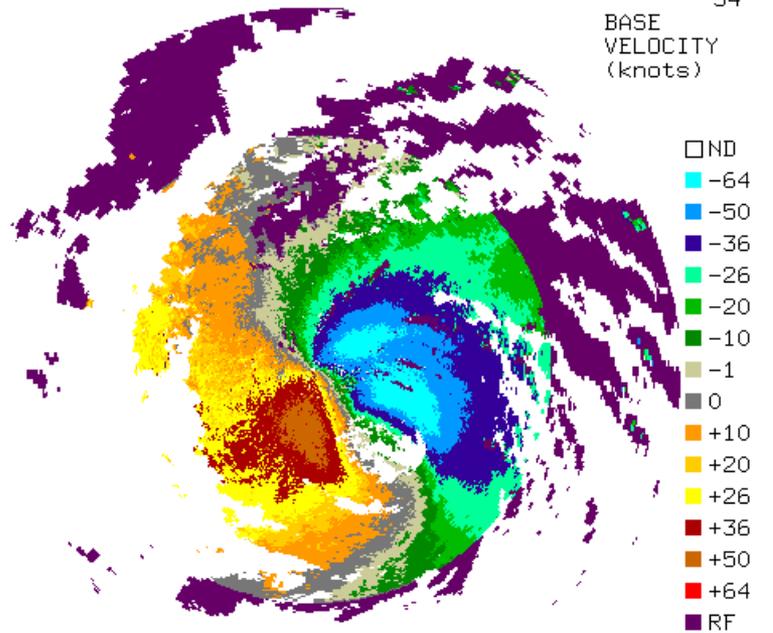
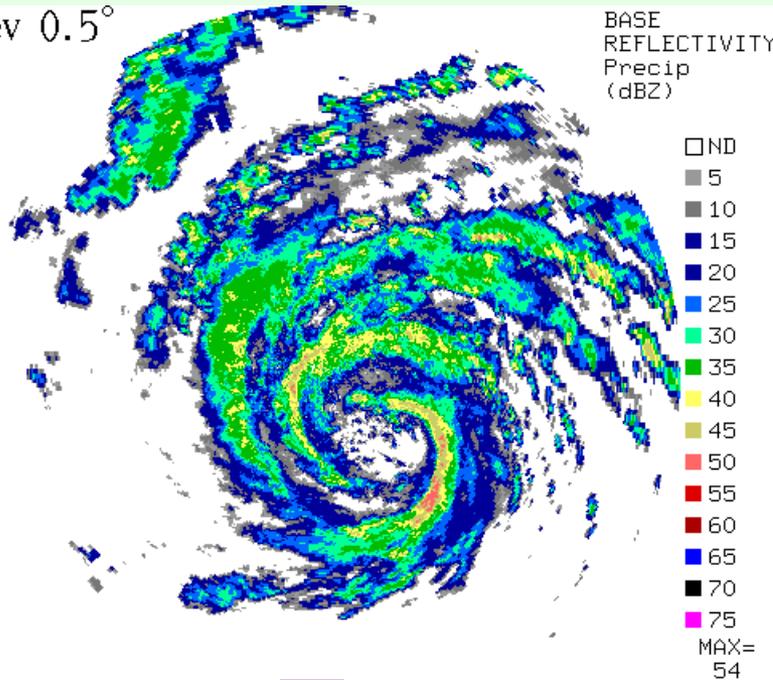


- Alejamiento del radar implica variación vertical
- Viento cerca del radar: niveles bajos
- Viento alejado del radar: niveles altos

Paso de un sistema frontal



Elev 0.5°



- Reflectividad y viento de Erin

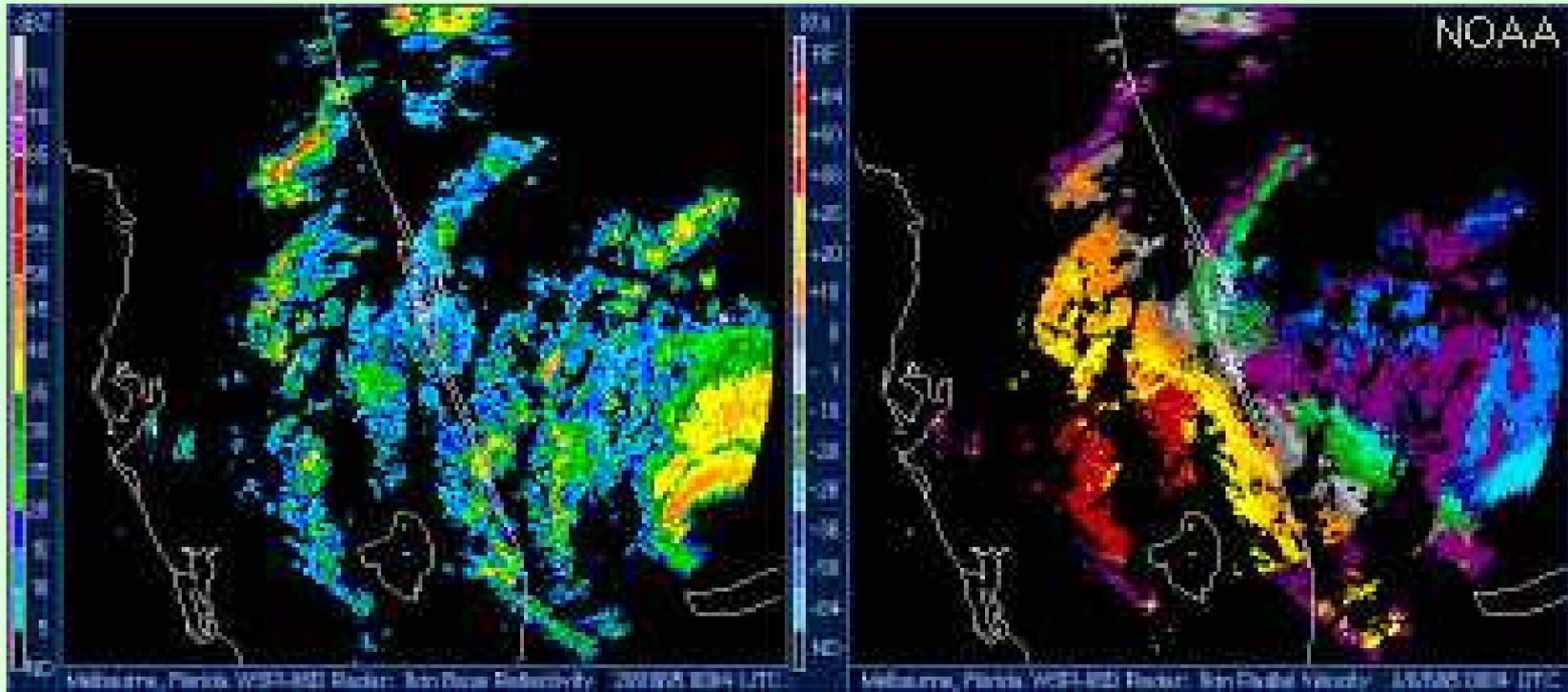
950802

KMLB

05:32 UTC

RANGE= -90 71

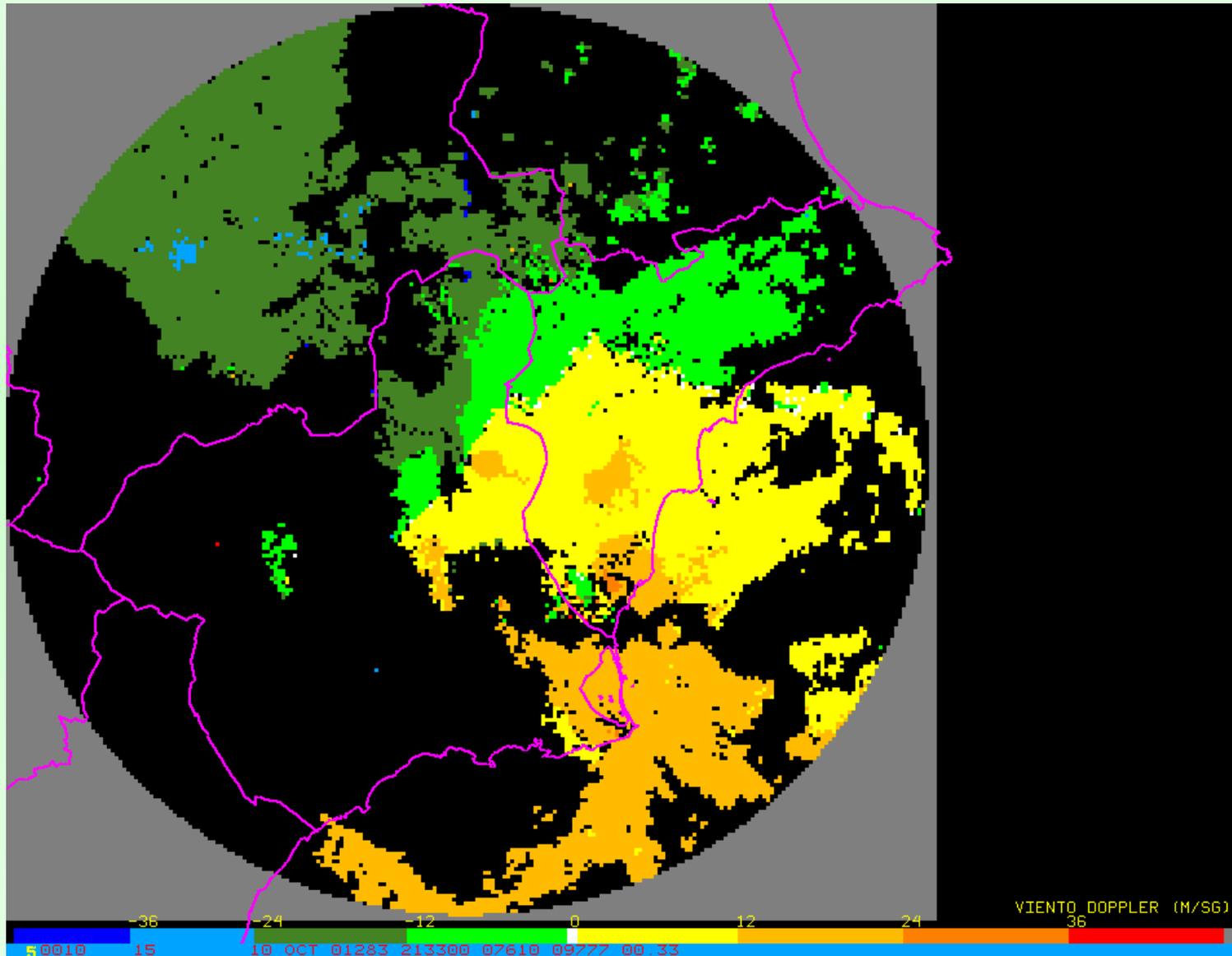
Ejemplo Z y Viento



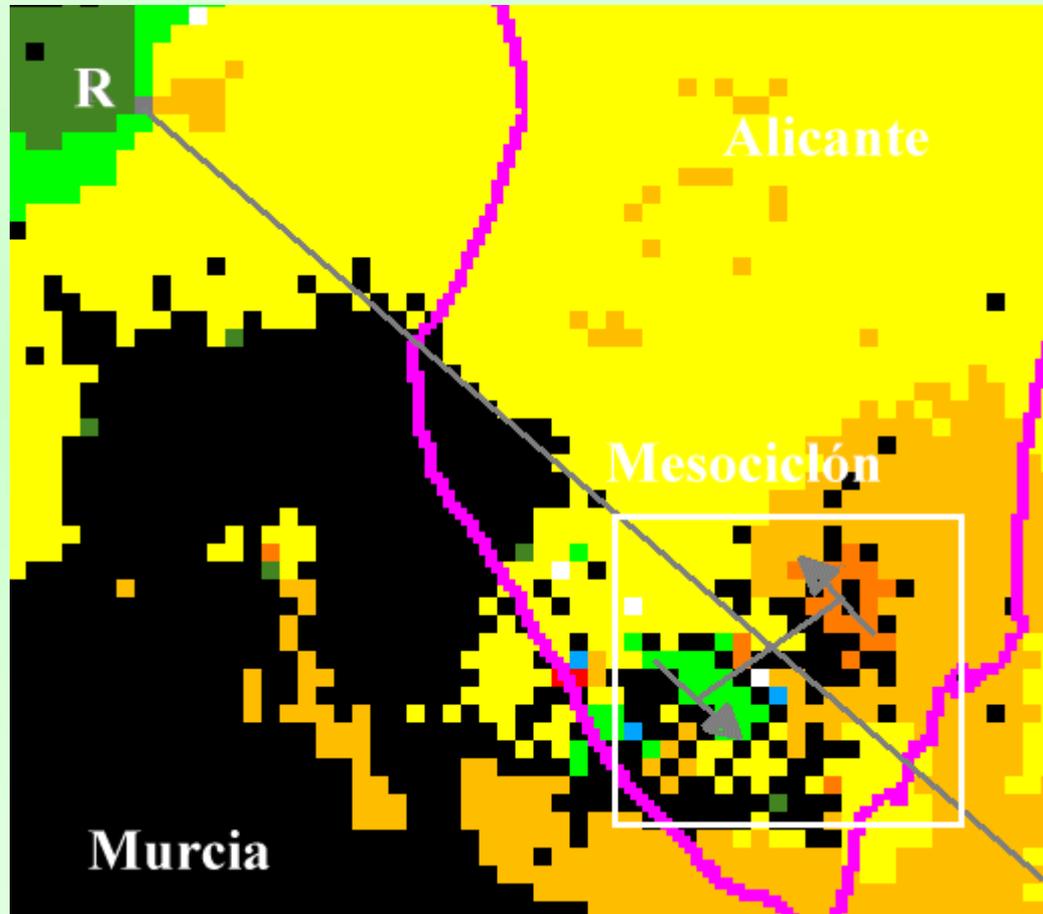
Vientos locales

- Variaciones de los campos de viento Doppler en una pequeña zona.
- Generalmente asociados a fenómenos convectivos
- Elementos más comunes:
 - Rotaciones
 - Convergencias
 - Divergencias

Ejemplo de mesociclón

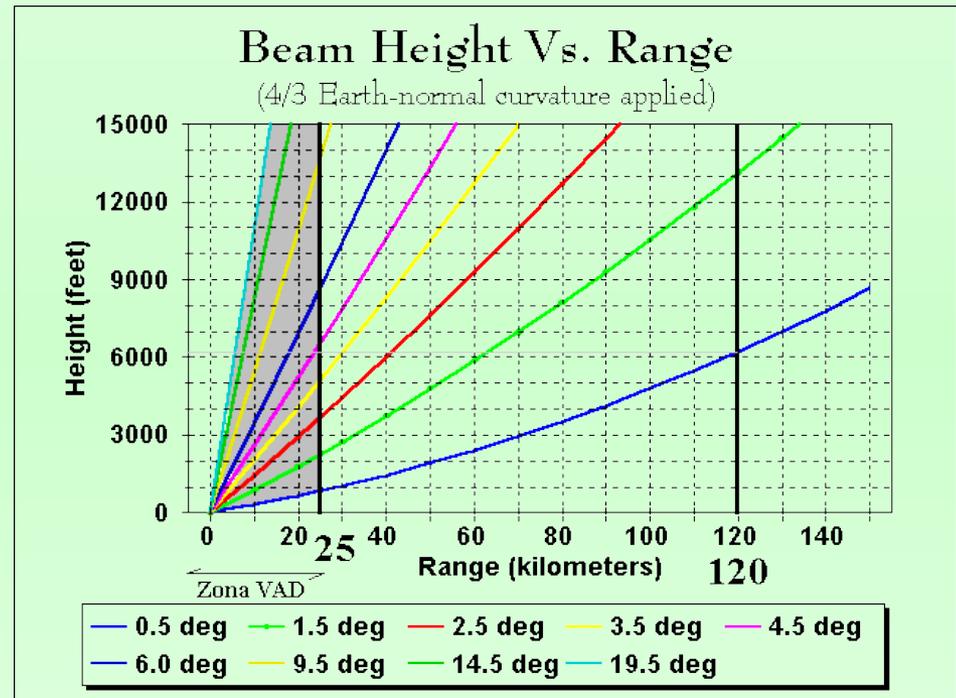


Ejemplo de mesociclón



VAD

- Velocity Azimuth Display
- Técnica que estima un conjunto de propiedades del campo de viento en la vertical de un radar Doppler



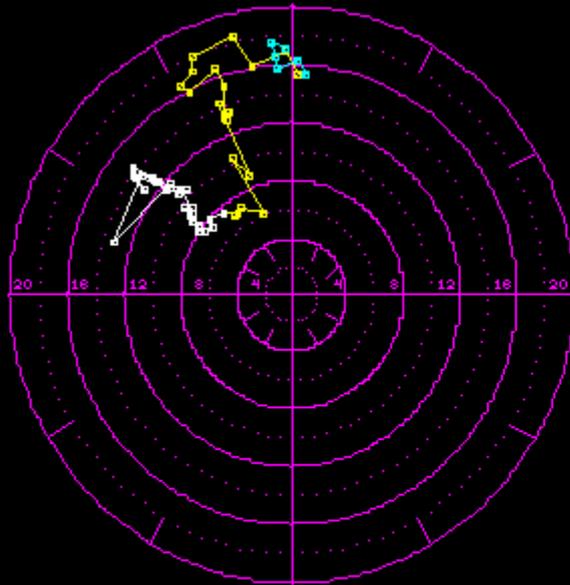
PERFIL DE VIENTO VAD. RADAR BAR (664 m.)

PARAMETROS OPERATIVOS

ISOCERO 2000
NIVELES 56

HODOGRAFA

- 0 a 2000 m.
- 2000 a 4000 m.
- más de 4000 m.

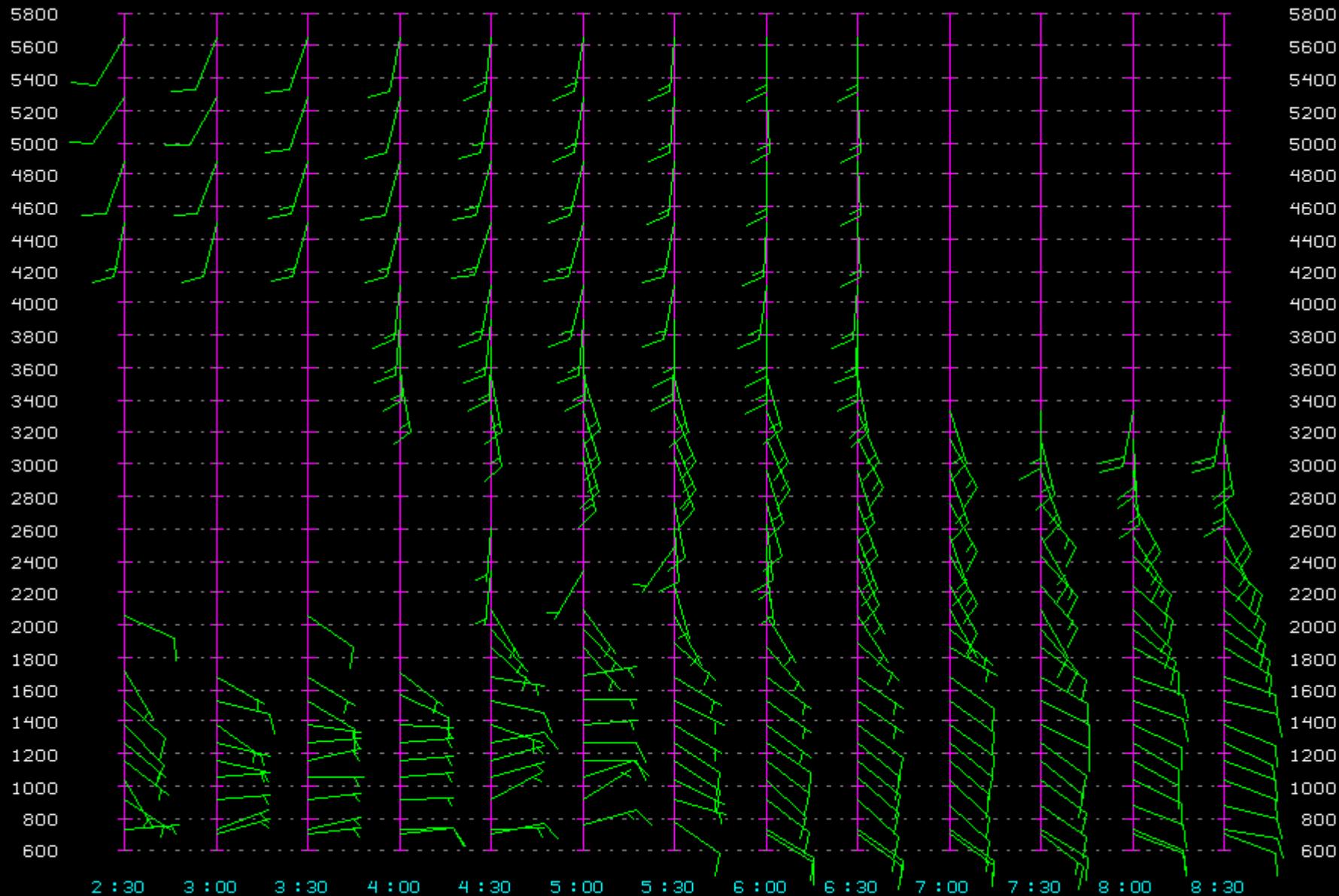


V. HOR	NIVEL (m)	V. VVER (m/seg)	DIVER. (seg ⁻¹ *1000)	RMS (m/seg)	
	5800				
	5600	5664	ND	54.70	0.80
	5400				
	5200	5276	ND	50.20	0.80
	5000				
	4800	4889	ND	30.30	0.60
	4600				
	4400	4503	ND	23.00	0.50
	4200				
	4000	4117	-0.20	56.80	0.50
	3800	3895	-0.20	110.60	0.70
	3600	3731	-0.20	189.10	0.90
	3400	3539	-0.10	234.70	1.00
	3200	3329	-0.10	162.40	0.80
	3000	3154	-0.10	115.50	0.70
	2800	2969	-0.10	49.00	0.90
	2600	2764	-0.10	-23.40	0.70
	2400	2562	-0.10	0.40	0.60
	2200	2430	-0.10	-8.80	0.70
	2000	2251	-0.10	-17.89	0.70
	1800	2061	-0.10	94.40	0.60
	1600	1895	-0.10	150.10	0.80
	1400	1676	0.00	144.50	0.70
	1200	1530	0.00	88.70	0.60
	1000	1384	0.00	46.00	0.50
	800	1277	0.00	86.70	0.60
	600	1167	0.00	39.70	0.50
		1057	0.00	6.80	0.40
		914	0.00	-17.39	0.40
		728	0.00	13.90	0.60

6 : 30 : 09

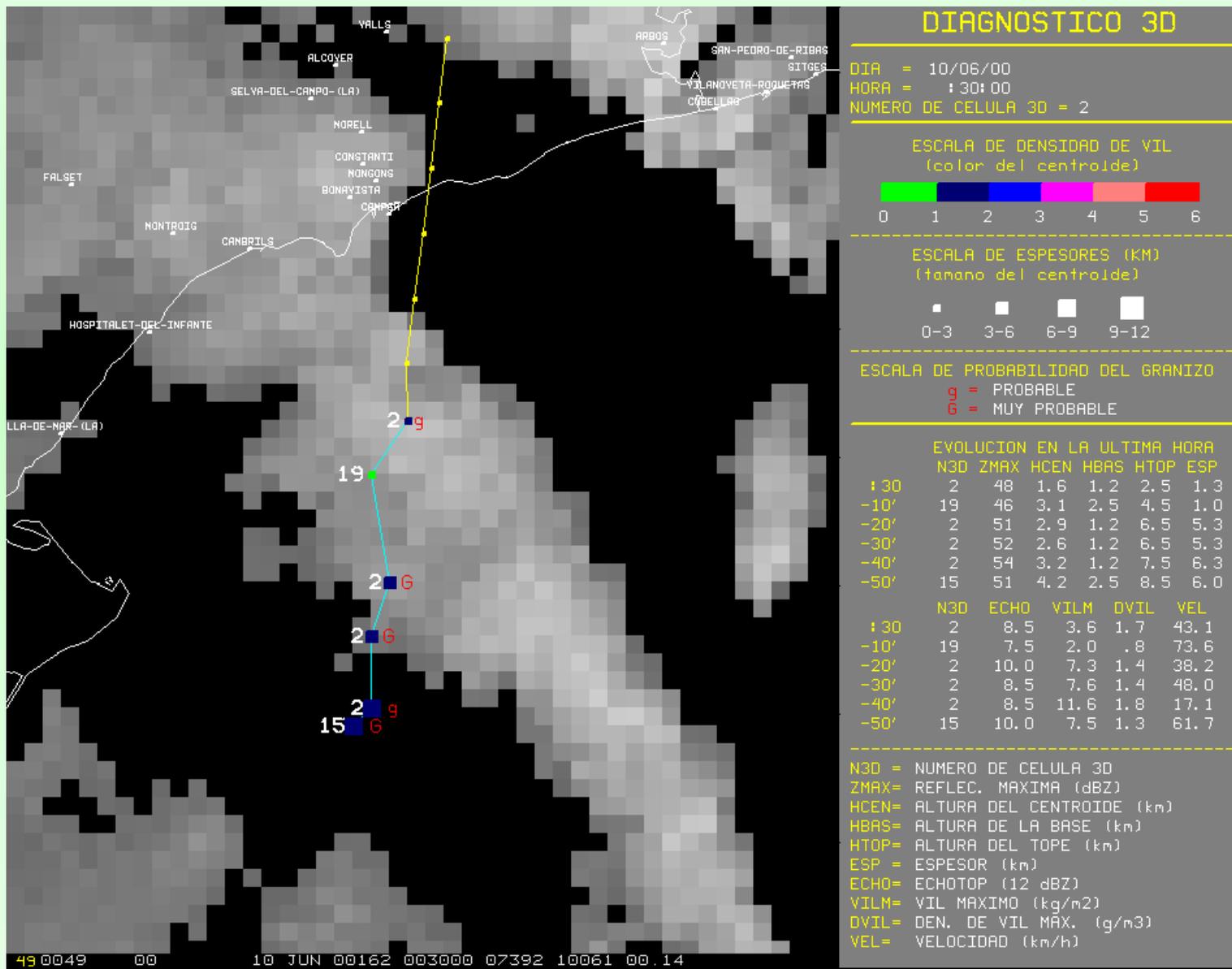
02 Oct 2002

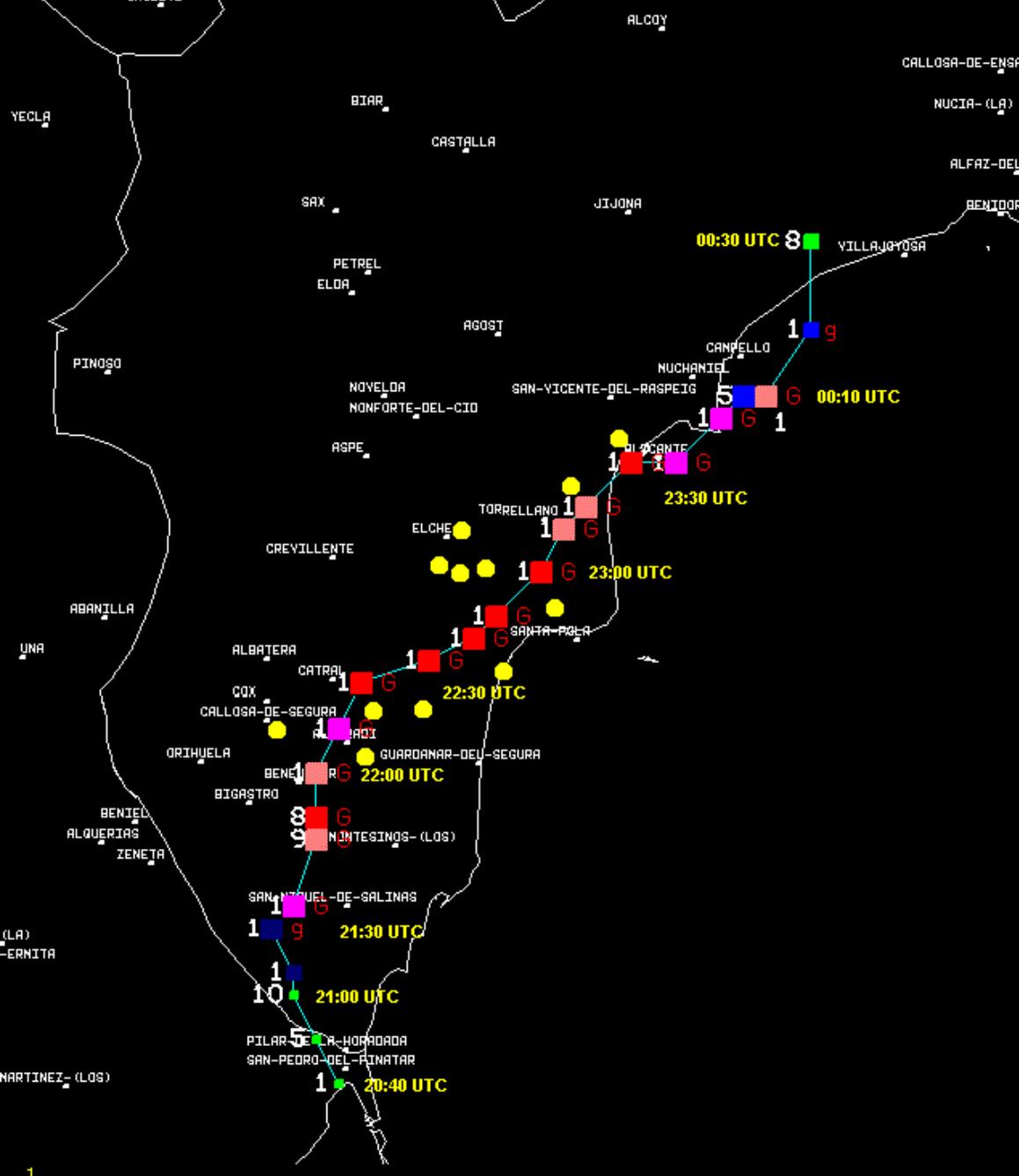
PERFIL DE VIENTO VAD. RADAR BAR (664 m.)



02 Oct 02

Diagnóstico automático de células convectivas





- Trayectoria de una supercélula, entre las 20:40 h y las 00:30 h
- G = Probabilidad alta de granizo
- g = Probabilidad baja de granizo
- Círculos amarillos: localidades donde se registró granizo