



# **Radares meteorológicos**

## **Curso introductorio**

### **Unidad I**

## **Unidad I. Principios de funcionamiento de los radares meteorológicos**

*Proceso de radiolocalización meteorológica. Equipamiento del radar Doppler: Transmisor, Receptor, Antena, Procesador de Señales, Procesador de Datos, Visualizador de la Información. Propagación de las ondas de radio en la atmósfera: Refracción, Reflexión y Atenuación. Blancos de radar: Hidrometeoros, Insectos, Aves. Dispersión de Mie y Raleigh. Ecuación del Radar.*

## **Unidad II. Explotación de los radares meteorológicos**

## **Unidad III. Organización del servicio de datos de radar meteorológico**

## **Unidad IV. Aplicaciones prácticas del radar meteorológico**

## Objetivo UNIDAD I

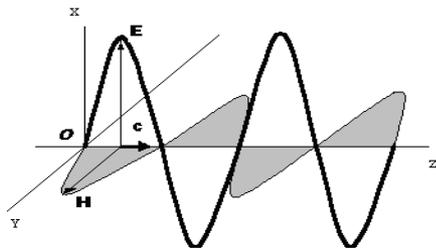
*Que el estudiante sea capaz de entender el proceso de radiolocalización meteorológica en sus cuatro componentes: el equipamiento del radar, la atmósfera, los blancos, así como el componente humano.*



# **Unidad I Contenido**

- **Proceso de Radiolocalización Meteorológica.**
- **Equipamiento del radar Doppler: *Transmisor, Receptor, Antena, Procesador de Señales, Procesador de Datos/Visualizador de la Información.***
- **Propagación de las ondas de radio en la atmósfera: *Refracción, Reflexión y Atenuación.***
- **Blancos de radar: *Hidrometeoros, Insectos, Aves.*  
**Dispersión de Mie y Raleigh. Ecuación del Radar.****

# Ondas electromagnéticas

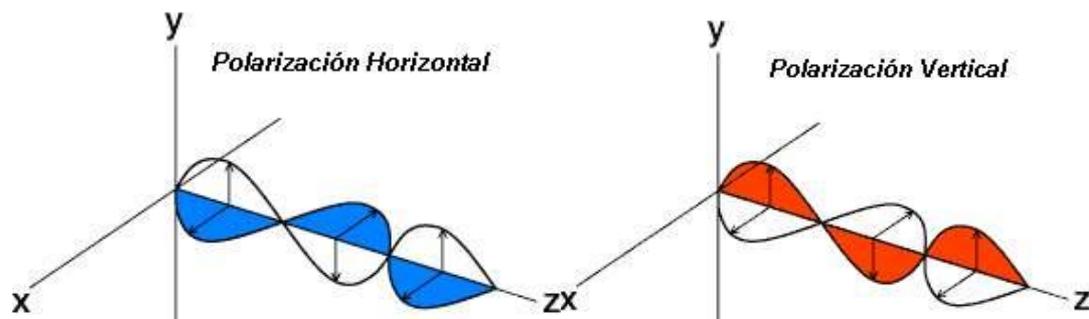


## *Breve introducción*

Los radares meteorológicos envían al espacio una onda electromagnética, que no es más que la combinación de un campo eléctrico (E) y un campo magnético (H), ambos sinusoidales, perpendiculares uno al otro, que se desplazan en dirección perpendicular al plano de oscilación (Vector de Umov-Poyting) transportando energía en el espacio. Se rige por las ecuaciones teóricas de Maxwell (1860), demostradas en la práctica por Hertz (1886).

# Ondas electromagnéticas

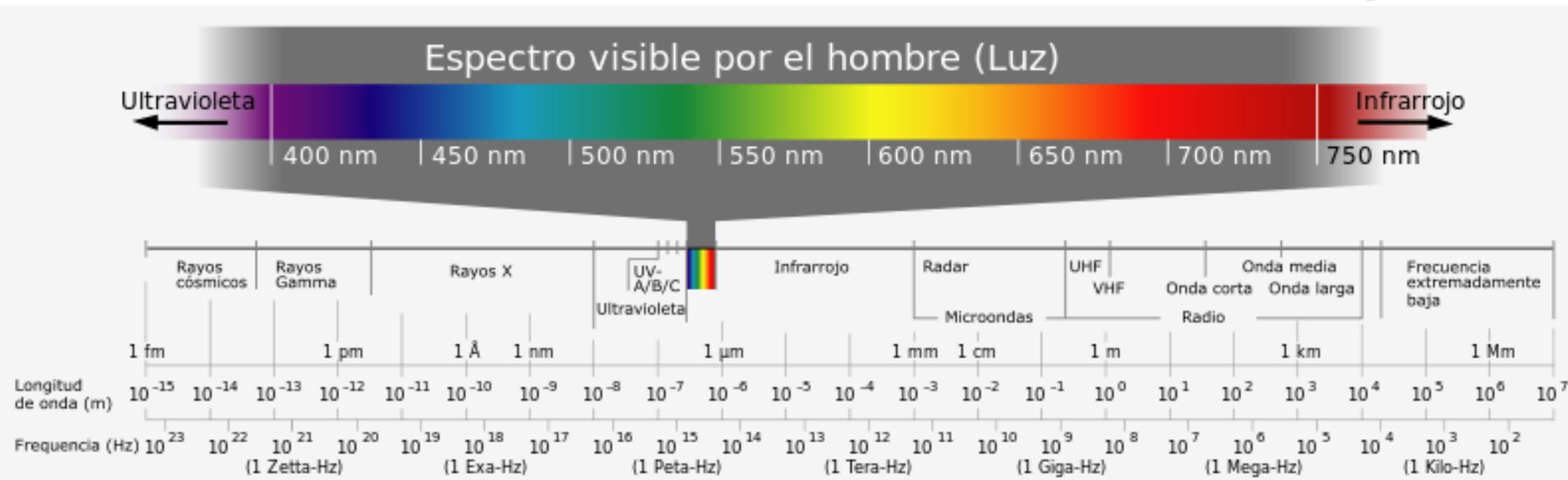
## *Breve introducción*



Las ondas electromagnéticas se caracterizan por la **frecuencia** ( $f$ ) de la oscilación sinusoidal, y por su **longitud de onda** ( $\lambda$ ). Las ondas electromagnéticas viajan en el vacío a la **velocidad de la luz** ( $C = 3 \times 10^8$  m/s) y **en línea recta**. Donde  $f = C/\lambda$ . La onda electromagnética también se caracteriza por su polarización (horizontal o vertical).

# Ondas electromagnéticas

## *Espectro*



El espectro electromagnético es infinito. Para entenderlo mejor, lo «dividimos» en partes que engloban las ondas electromagnéticas de propiedades semejantes.

# Ondas E.M. en la Meteorología

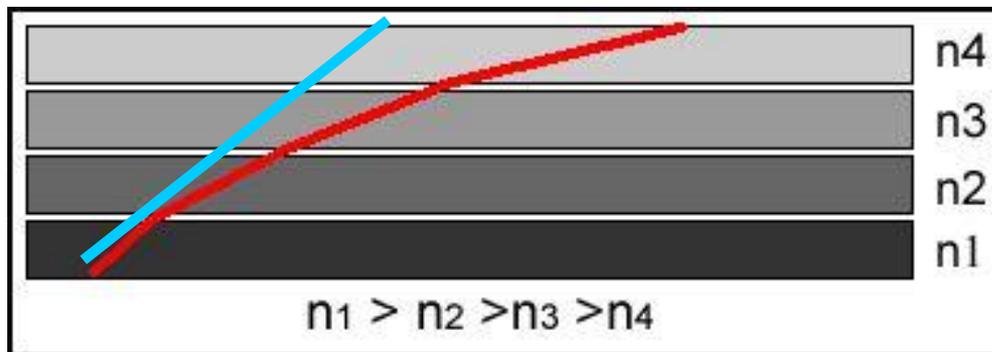
Nombre	Frecuencia	Longitud de Onda	Clasificación	Destino
HF	3-30 MHz	100-10 m	Ondas Cortas de Radio	Perfiladores de Viento
VHF	30-300 MHz	10-1 m		
UHF	300-1000 MHz	1-0.3 m		
L	1-2 GHz	30-15 cm	Microondas	Radares de Vigilancia Meteorológica
S	2-4 GHz	15-8 cm		
C	4-8 GHz	8-4 cm		
X	8-12 GHz	4-2.5 cm		
K <sub>u</sub>	12-18 GHz	2.5-1.7 cm	Microondas	Radares para captación de Nubes
K	18-27 GHz	1.7-1.2 cm		
K <sub>a</sub>	27-40 GHz	1.2-0.75 cm		
W	40-300 GHz	7.5-1 mm		

# Propagación de las microondas

*En la tropósfera*

La tropósfera es un medio **NO-HOMOGÉNEO**. La distribución vertical de la temperatura, la presión y la humedad es altamente variable y no uniforme. La tropósfera está compuesta de Aire y Vapor de Agua (en forma de Nubes, Neblina, Precipitaciones). Esto hace que al propagarse la onda encuentre a su paso significativas variaciones del **INDICE DE REFRACCIÓN**. Estas variaciones del Índice de Refracción originan los fenómenos de Refracción, Atenuación, y Dispersión de la onda.

# Propagación de las microondas



*Refracción*

La tropósfera suele estar estructurada en capas verticales, en las cuales la temperatura, la presión y la humedad son relativamente uniformes y por tanto lo es el Índice de Refracción. Cuando el haz de ondas E.M. emitido por el radar viaja atravesando capas con distinto Índice de Refracción ( $n$ ), se separa de la trayectoria rectilínea (la que llevaría en el vacío) y se desvía **NORMALMENTE** hacia abajo.

# Propagación de las microondas

## *Refracción Estándar*

Es necesario aclarar qué significa **NORMALMENTE**. El concepto de **atmósfera estándar** sirve como referencia para establecer las relaciones entre altura, presión y temperatura en la vertical. A los efectos de radar, este concepto establece las condiciones de propagación que se asumen como “**normales**” o “**estándar**”, las cuales se usan **SIEMPRE** para calcular la desviación del haz del radar de la trayectoria rectilínea, y por tanto **la altura de los blancos**.

# Propagación de las microondas

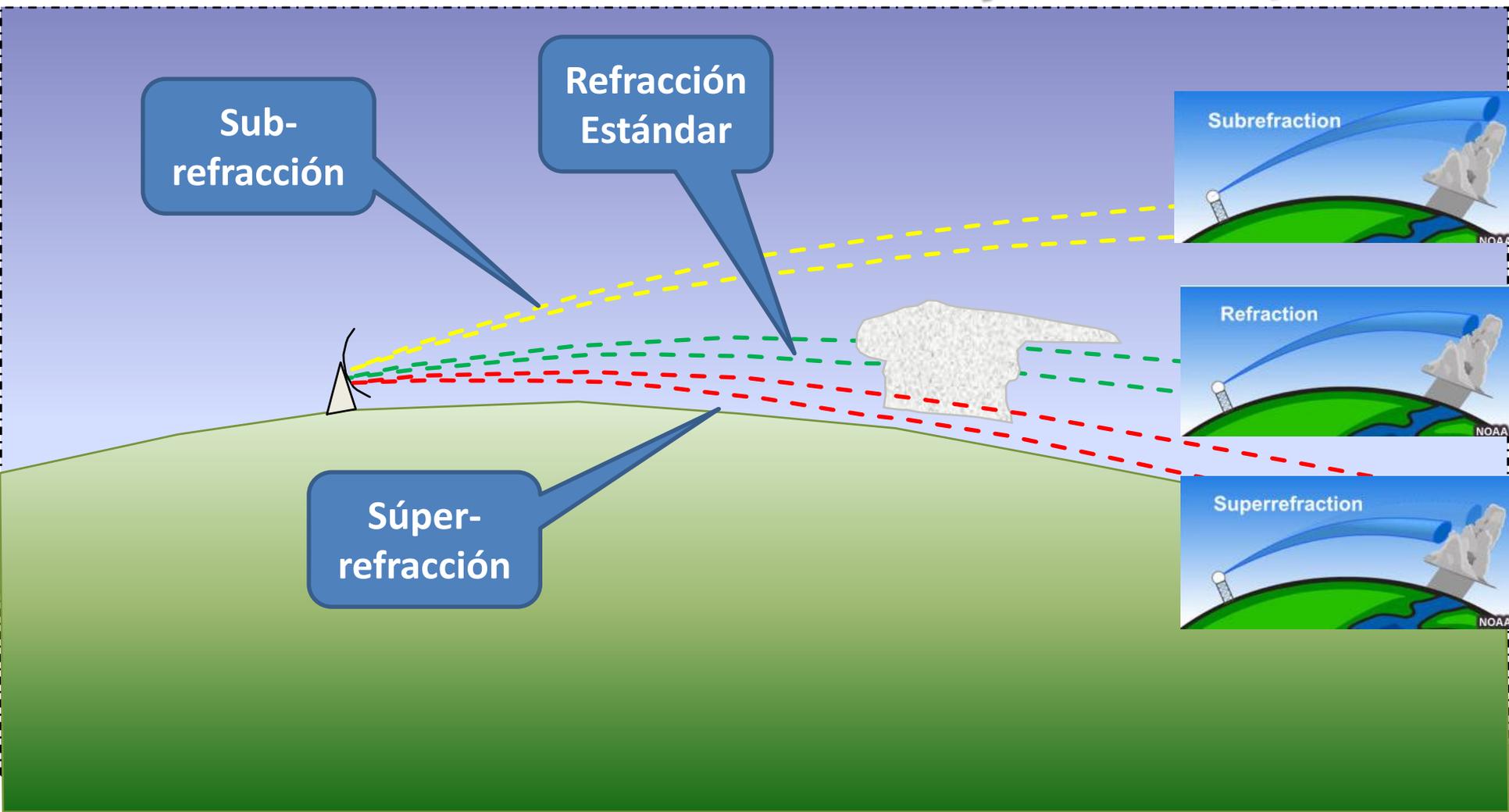
## *Refracción Real*

En la vida real, las condiciones de la Atmósfera Estándar no ocurren nunca. El gradiente del Índice de Refracción ( $\Delta n/\Delta H$ ), varía en un amplio rango, y por tanto definimos 3 tipos de situaciones de Refracción:

- 1) Sub-refracción :  $0 > \Delta n/\Delta H > -14.8 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1}$
- 2) Refracción Normal:  $\Delta n/\Delta H = -14.8 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1}$
- 3) Súper-refracción:  $\Delta n/\Delta H < -15 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1}$

# Propagación de las microondas

## *Tipos de Refracción*



# **Propagación de las microondas**

## *Atenuación*

El haz del radar, al atravesar un medio diferente al vacío, sufre una atenuación que será diferente, según la composición del medio:

- 1) Atenuación por los gases atmosféricos ( $O_2$  y  $N_2$ ).
- 2) Atenuación en las nubes y neblinas.
- 3) Atenuación en zonas de precipitaciones.
- 4) Atenuación al pasar el radomo (seco o mojado).

# **Propagación de las microondas**

## *Atenuación*

Existen dos mecanismos que causan la atenuación:

- 1) **Absorción.** Parte de la energía de la onda incidente es absorbida por las moléculas del medio y se disipa en forma de calor.
- 2) **Dispersión.** Parte de la energía de la onda incidente es re-irradiada en todas direcciones, a causa de la oscilación que generó la onda en la molécula.

# Propagación de las microondas

## *Bandas -- Atenuación*

Intensidad de la lluvia (mm/h)	Coeficiente de atenuación (dB/km)		
	Banda X	Banda C	Banda S
1	0.014	0.004	0.0006
10	0.302	0.066	0.006
100	6.16	0.962	0.06

*En el Trópico se recomienda la Banda S*

# **Propagación de las microondas**

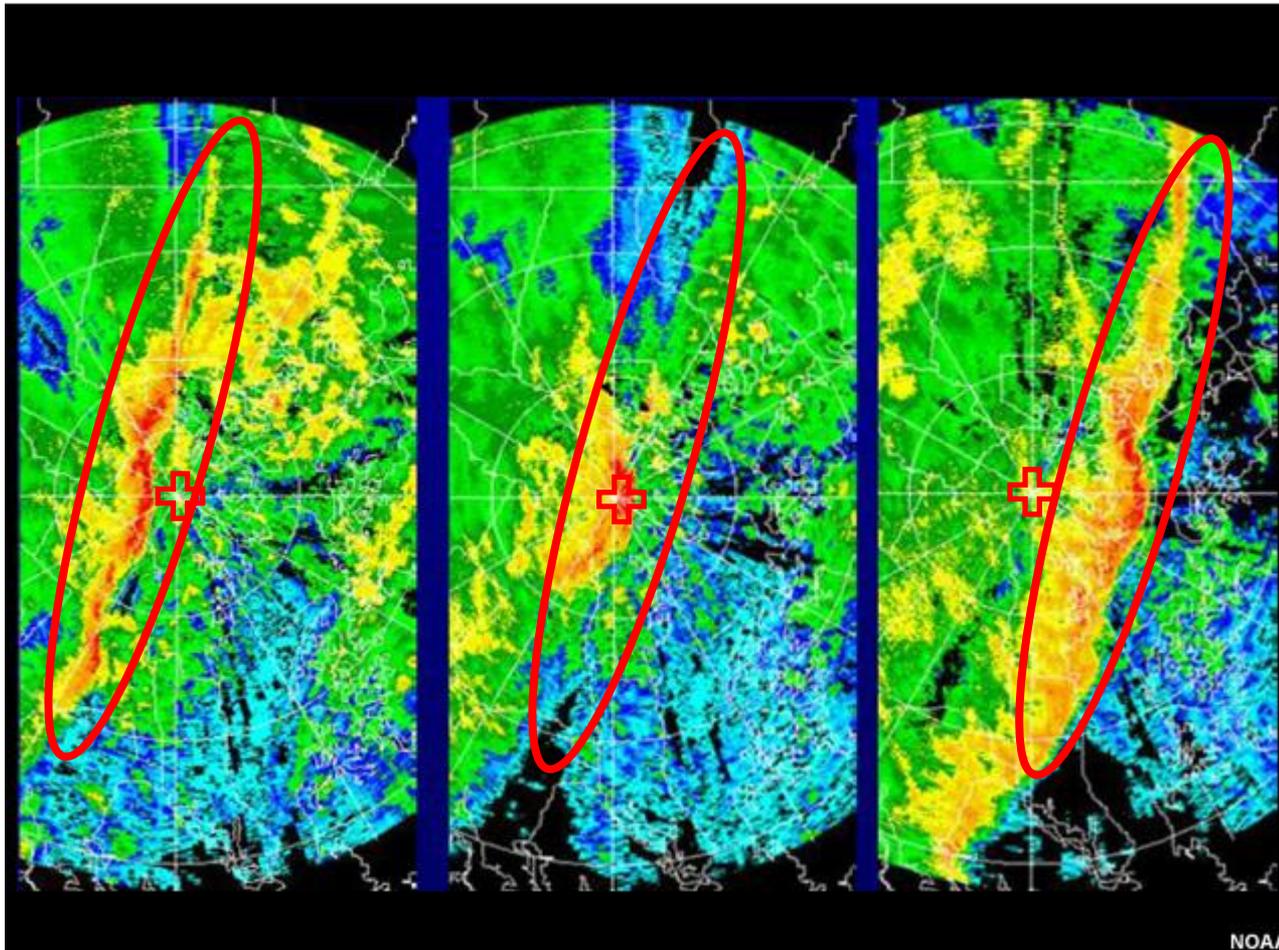
## *Bandas -- Atenuación*

<b>Distancia entre el radar y el objeto</b>	<b>Atenuación para una lluvia de 200 mm/h</b>		
	<b>Banda X</b>	<b>Banda C</b>	<b>Banda S</b>
<b>2 km</b>	<b>30.6 dB</b>	<b>4.32 dB</b>	<b>0.24 dB</b>
<b>10 km</b>	<b>153.0 dB</b>	<b>21.60 dB</b>	<b>1.20 dB</b>
<b>20 km</b>	<b>306.0 dB</b>	<b>43.20 dB</b>	<b>2.40 dB</b>

*En el Trópico se recomienda la Banda S*

# Propagación de las microondas

## *Atenuación*



# **Propagación de las microondas**

## *Reflexión – Dispersión*

Quando la onda E.M. incidente es de una longitud de onda que es mucho menor que el tamaño del objeto sobre el cual incide se produce la reflexión (rechazo especular de la onda, como en la óptica).

Quando la onda E.M. incidente es de una longitud de onda que es comparable o mayor que el tamaño del objeto sobre el cual incide se produce la dispersión (rechazo en todas las direcciones).

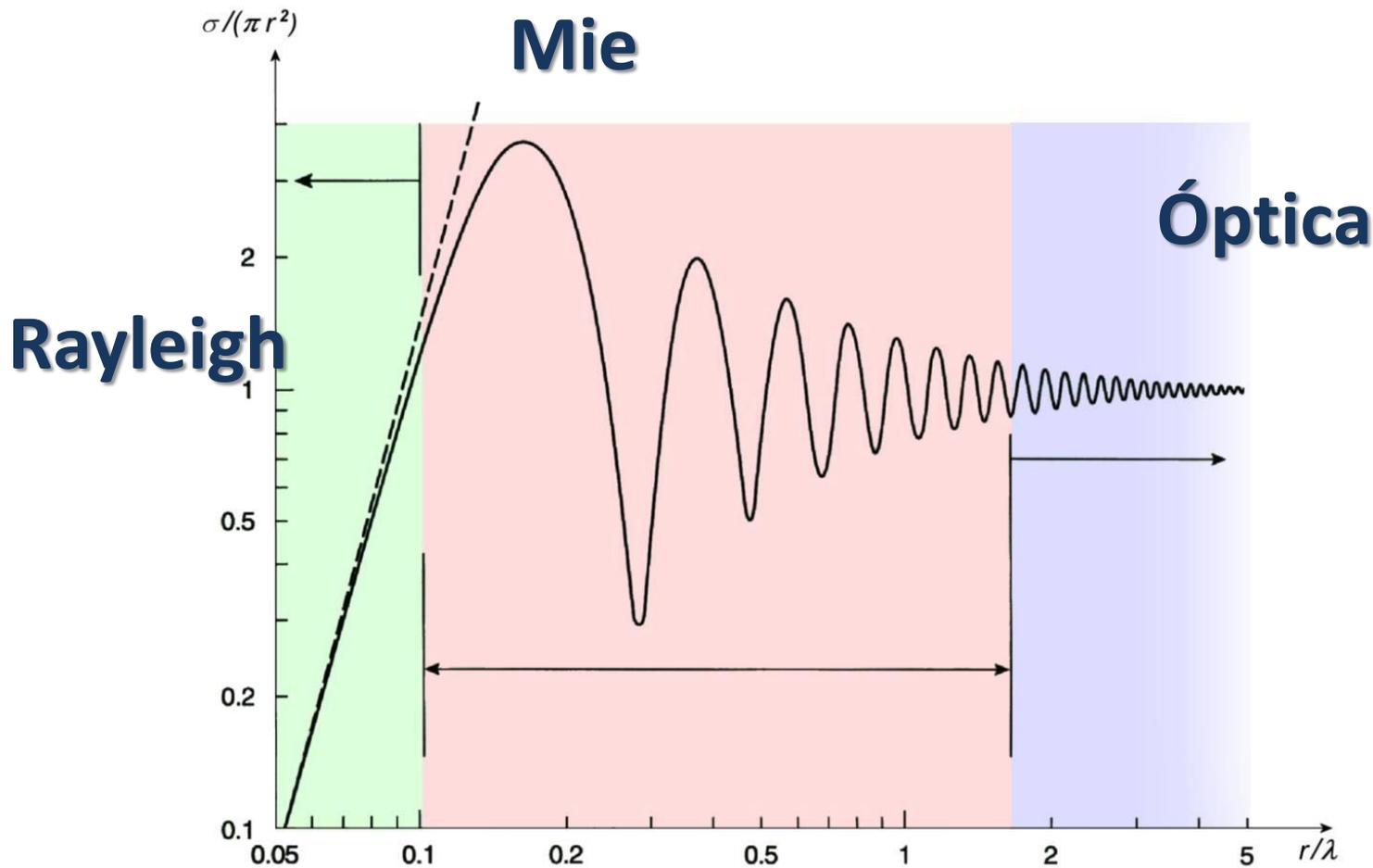
# Reflexión-Dispersión

## *Área de la sección transversal*

Para determinar cuán detectable es un blanco se emplea el término **Área Efectiva de la Sección Transversal**, que depende de: a) el tamaño del blanco, b) la relación entre el tamaño del blanco y la longitud de onda incidente, y c) el material del blanco. Se le denomina con la letra griega  $\sigma$ . Mientras mayor sea la magnitud de  $\sigma$ , más detectable es el blanco. Los aviones furtivos tienen una  $\sigma$  comparable a la de un ave.

# Propagación de las microondas

## *Dispersión Rayleigh-Mie-Óptica*



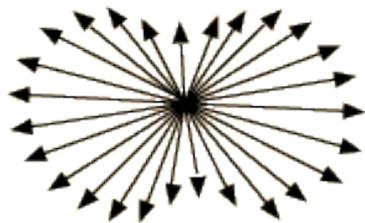
# Propagación de las microondas

## *Dispersión Rayleigh-Mie-Óptica*

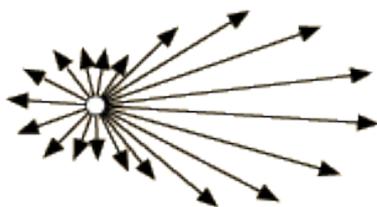
$$\sigma = \frac{\pi^5 |K|^2 D^6}{\lambda^4}$$

Rayleigh

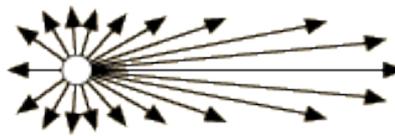
Rayleigh Scattering



Mie Scattering



Mie Scattering,  
larger particles



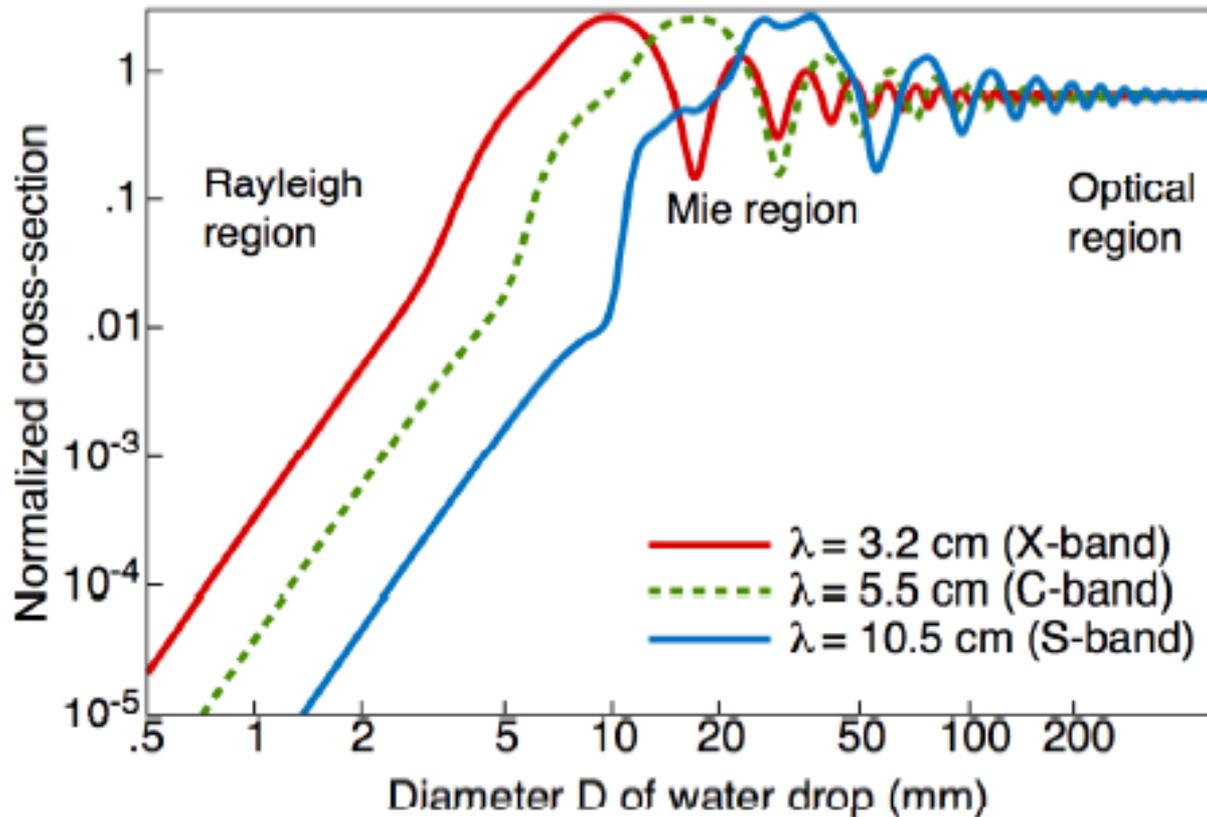
→ Direction of incident light

$$\sigma = \pi r^2$$

Óptica

# Propagación de las microondas

## *Dispersión Rayleigh-Mie-Óptica*



# Reflectividad

## *Blancos meteorológicos*

$$\sigma_t = \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

Área total de sección transversal

$$\eta = \sum_{\text{vol. unidad}} \sigma_i$$

$$\eta = \frac{\pi^5 |K|^2 z}{\lambda^4}$$

Reflectividad

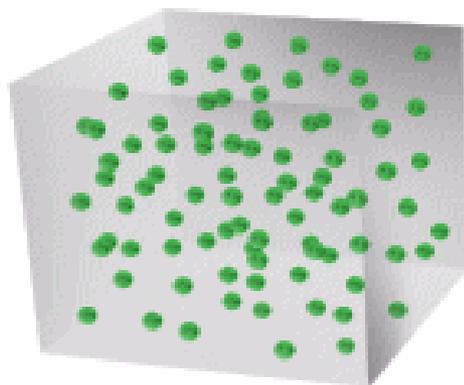
$$z = \sum_{\text{vol}} D_i^6$$

Factor de Reflectividad

# Reflectividad

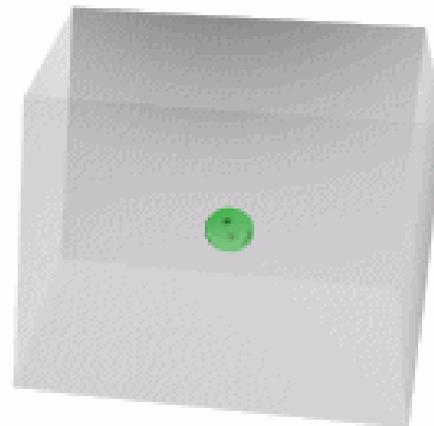
## *Blancos meteorológicos*

$$Z = \sum_{vol} D_i^6$$



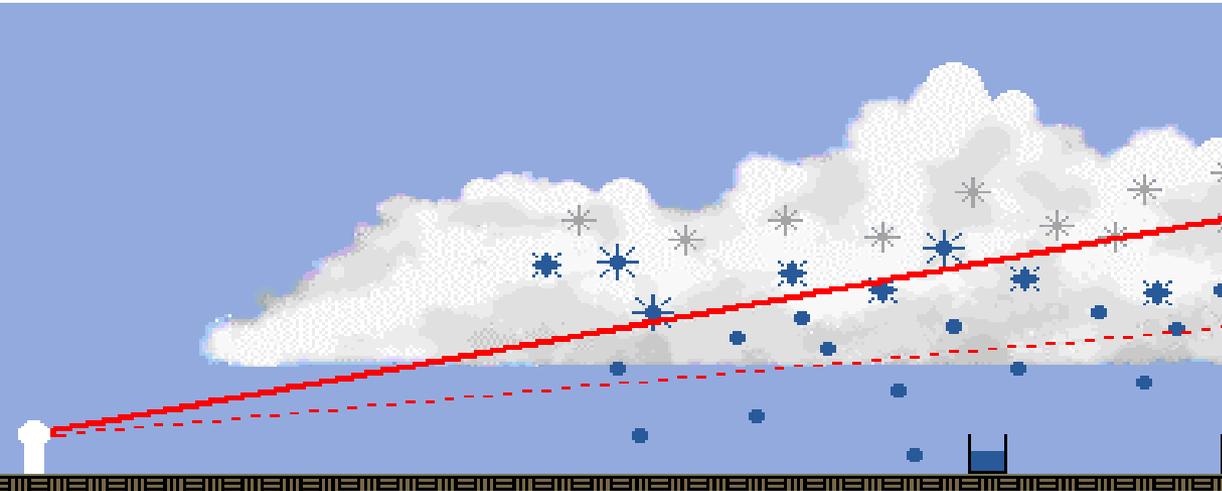
729 1mm drops

=



1 3mm drop

# Reflectividad

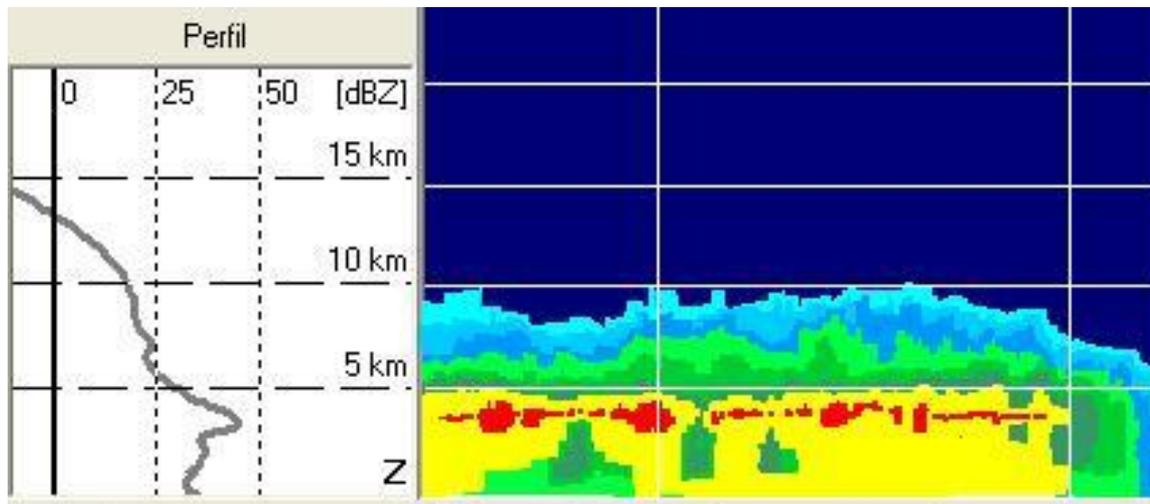


*Banda brillante*

$$\eta = \frac{\pi^5 |K|^2 z}{\lambda^4}$$

$|K|^2=0.19$  hielo

$|K|^2=0.93$  agua



$$Z = \sum_{vol} D_i^6$$

# Ecuación del radar

## *Teoría y Práctica*

### Teoría:

$$p_r = \left( \frac{\pi^3}{2^{10} \cdot \ln 2} \right) \cdot \left( \frac{p_t \cdot g^2 \cdot \Theta \cdot \Phi \cdot h \cdot l_r \cdot l_{wg}}{\lambda^2} \right) \cdot \left( \frac{|K|^2 \cdot l_a^2 \cdot z}{r^2} \right)$$

### Práctica:

$$z_e = \left( \frac{2^{10} \cdot \ln 2}{0.93 \cdot \pi^3} \right) \cdot \left( \frac{\lambda^2}{p_t \cdot g^2 \cdot \Theta \cdot \Phi \cdot c \cdot \tau \cdot l_r \cdot l_{wg}} \right) \cdot (p_r \cdot r^2)$$