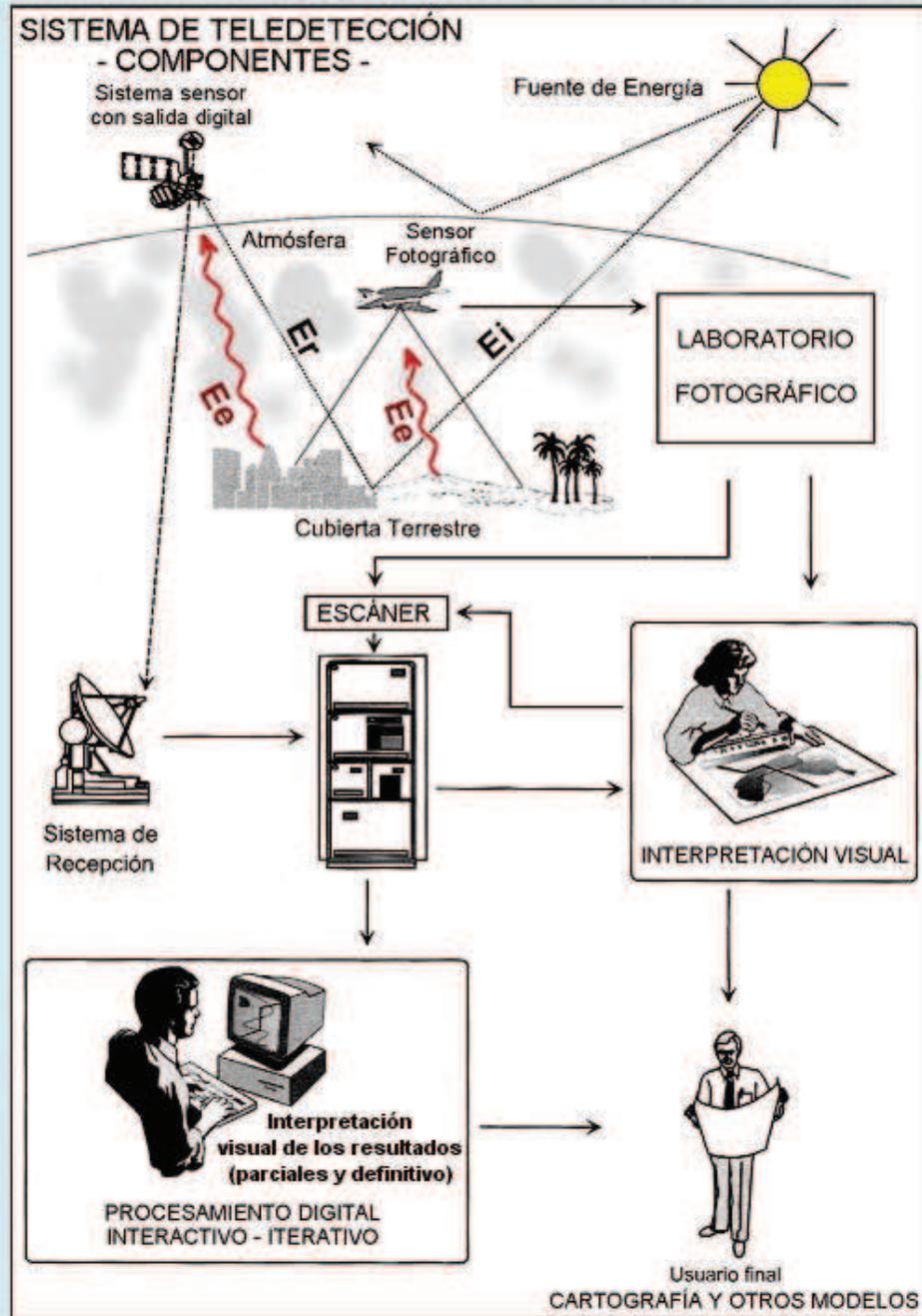


Bases físicas de la Teledetección

ESQUEMA BÁSICO DEL PROCESO DE TELEDETECCIÓN



SENSORES REMOTOS: Instrumentos que registran la radiación reflejada o emitida por el terreno.

SENSORES PASIVOS

El sensor registra la energía reflejada por el terreno



El sensor registra la energía emitida por el terreno



SENSOR ACTIVO

El sensor genera y emite energía, que se refleja en el terreno y retorna al sensor



BALANCE ENERGÉTICO AL NIVEL DEL TERRENO

$$\phi_I(\lambda) = \phi_R(\lambda) + \phi_A(\lambda) + \phi_T(\lambda)$$

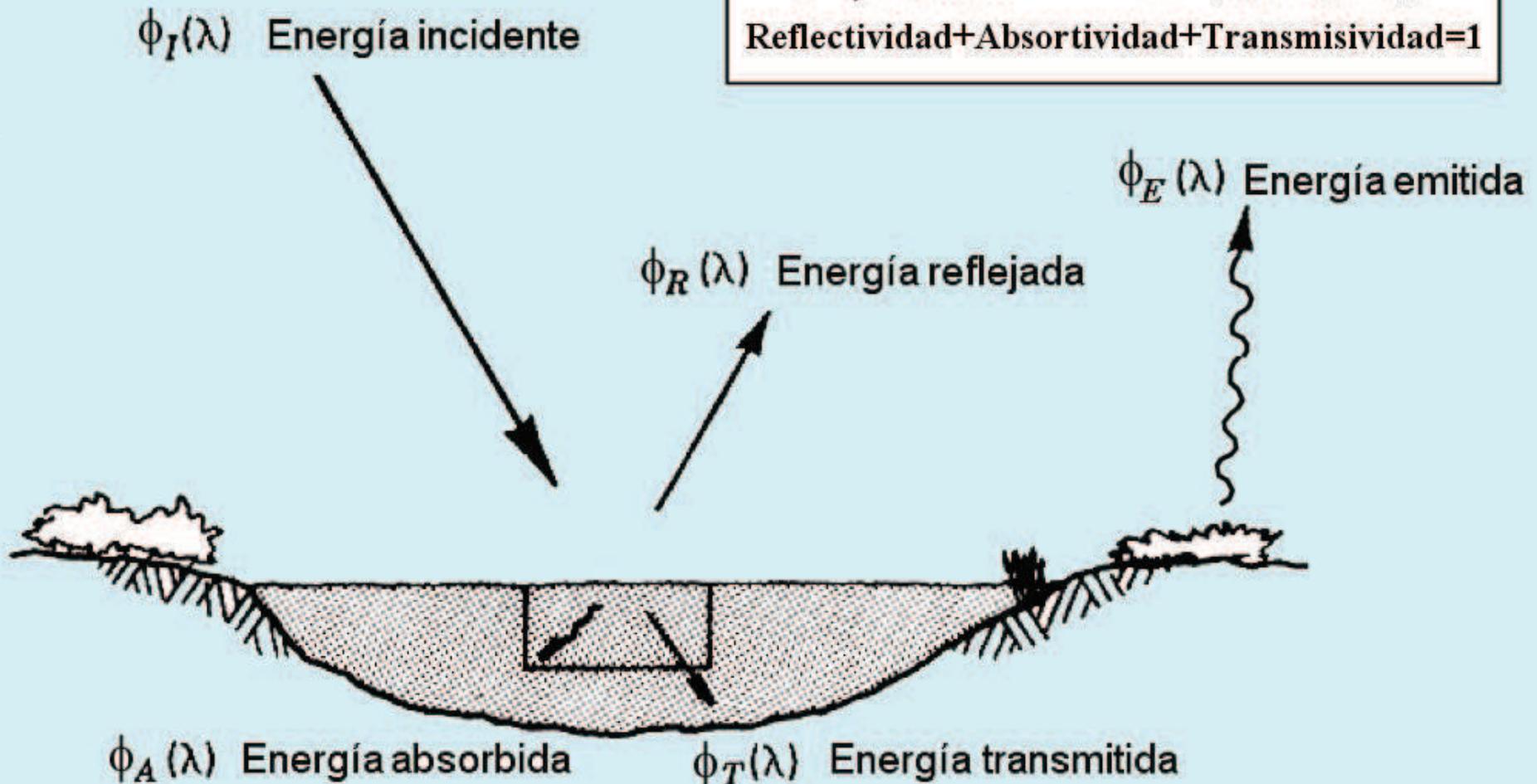
$$\phi_R(\lambda) = \phi_I(\lambda) - [\phi_A(\lambda) + \phi_T(\lambda)]$$

ϕ (flujo radiante) = $\delta Q/\delta t$ en vatios (W)

$$\frac{\phi_I}{\phi_I} = \frac{\phi_R}{\phi_I} + \frac{\phi_A}{\phi_I} + \frac{\phi_T}{\phi_I}$$

$$1 = \rho + \alpha + \tau \quad 1 = \rho_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda$$

Reflectividad+Absortividad+Transmisividad=1



**ASPECTOS ONDULATORIOS
DE LA RADIACIÓN
ELECTROMAGNÉTICA**

Teoría ondulatoria de la luz

Christiaan Huygens



Nacimiento	14 de abril de 1629 La Haya, 
Fallecimiento	8 de julio de 1695 La Haya, 
Ocupación	Matemático, físico y astrónomo

Los trabajos de Huygens en Física se centraron principalmente en dos campos: la mecánica y la óptica. En el campo de la óptica elaboró la teoría ondulatoria de la luz, partiendo del concepto de que cada punto luminoso de un frente de ondas puede considerarse una nueva fuente de ondas (Principio de Huygens). A partir de esta teoría explicó, en su obra *Traité de la lumière*, la reflexión, refracción y doble refracción de la luz. Dicha teoría quedó definitivamente demostrada por los experimentos de Thomas Young, a principios del siglo XIX.

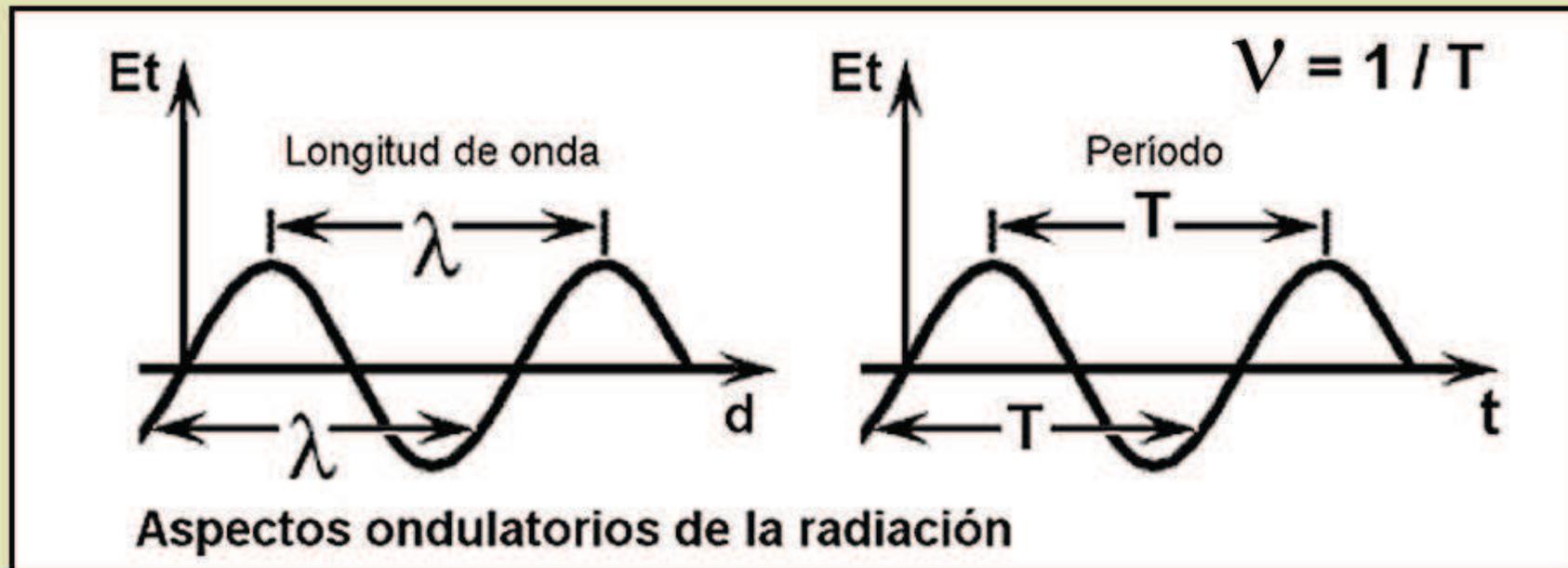
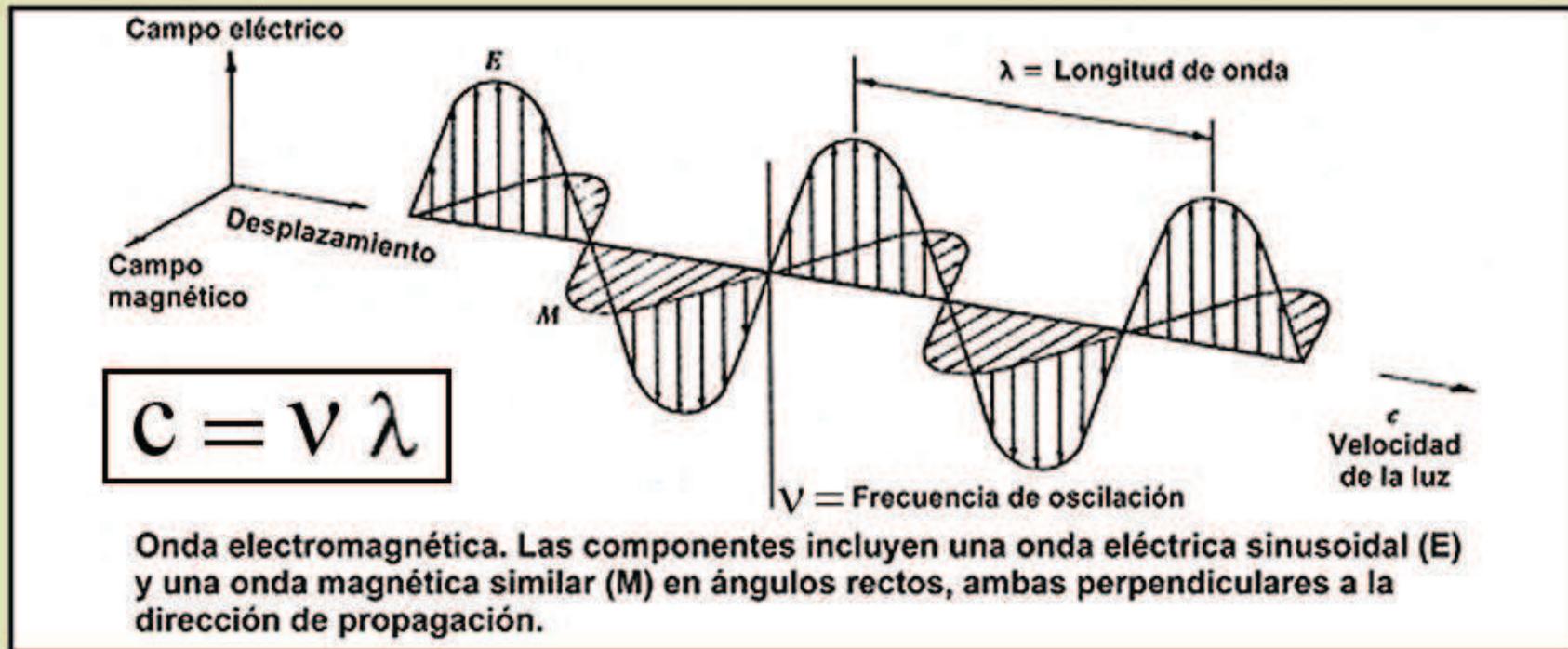
Thomas Young es célebre por su experimento de la doble rendija que demostraba la naturaleza ondulatoria de la luz, teoría propuesta por Huygens, y por haber ayudado a descifrar los jeroglíficos egipcios a partir de la piedra Rosetta. A la edad de catorce años comenzó estudios de Griego, Latín, Francés, italiano, Hebreo, Caldeo, Sirio, Samaritano, Árabe, Persa, Turco y Amharico. Comenzó estudios de medicina en Londres en 1792 mudándose poco después a Edimburgo (1794) y Gotinga (1795) donde obtuvo el grado de doctor en física en 1796. Entre 1801 y 1803 fue profesor de física en la Royal Institution pero renunció a este cargo temiendo que sus labores docentes interfiriesen con su actividad médica.



Thomas Young

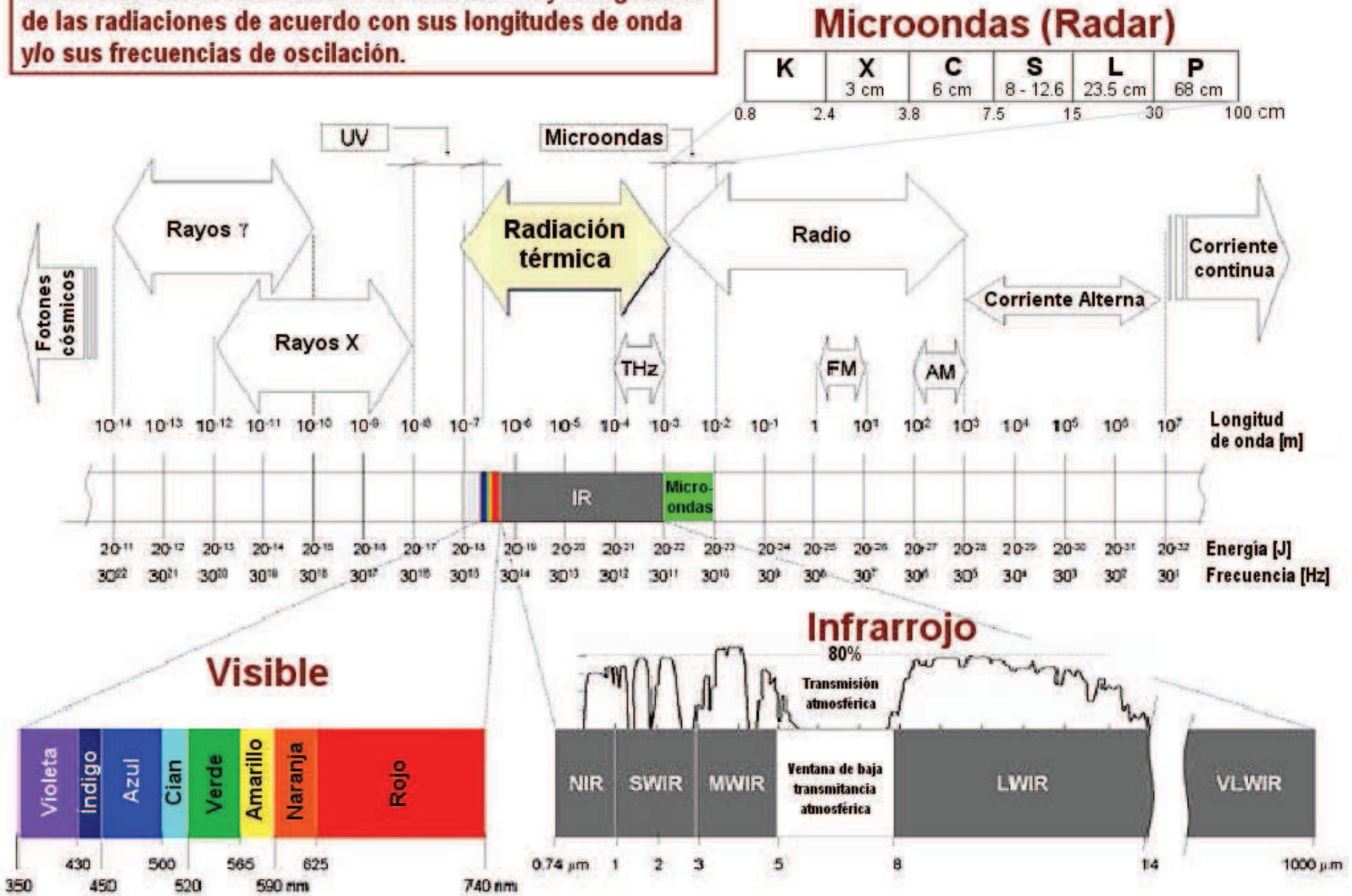
Nacimiento	13 de junio de 1773 Milverton 
Fallecimiento	10 de mayo de 1829 Londres 
Ocupación	Físico, médico egiptólogo.

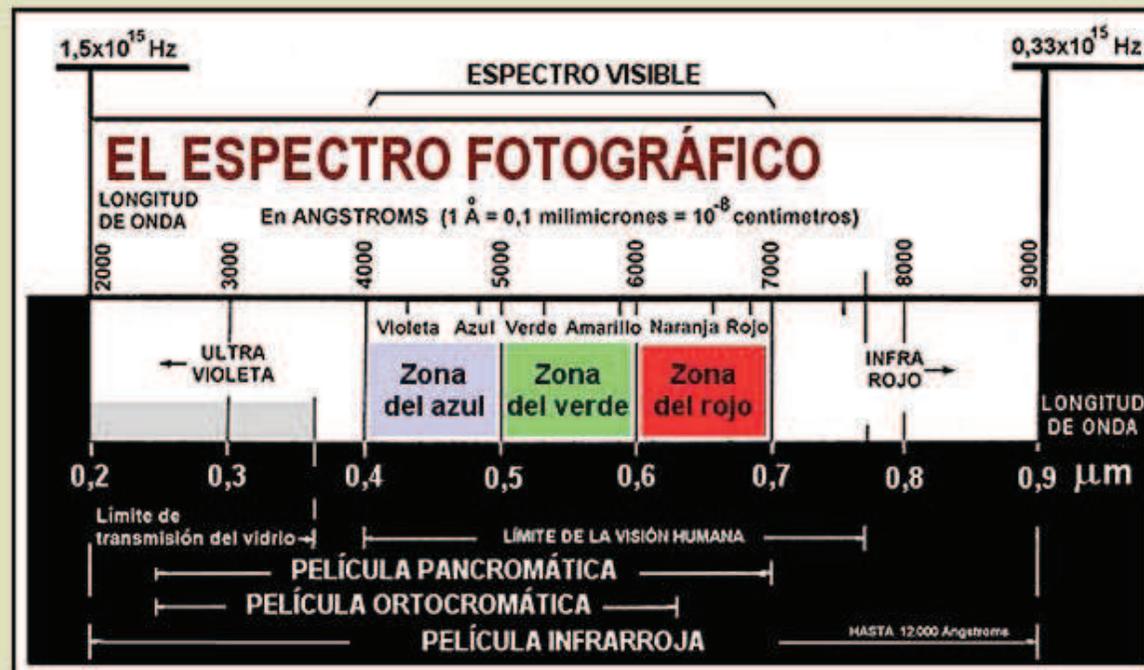
CARACTERÍSTICAS ONDULATORIAS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA



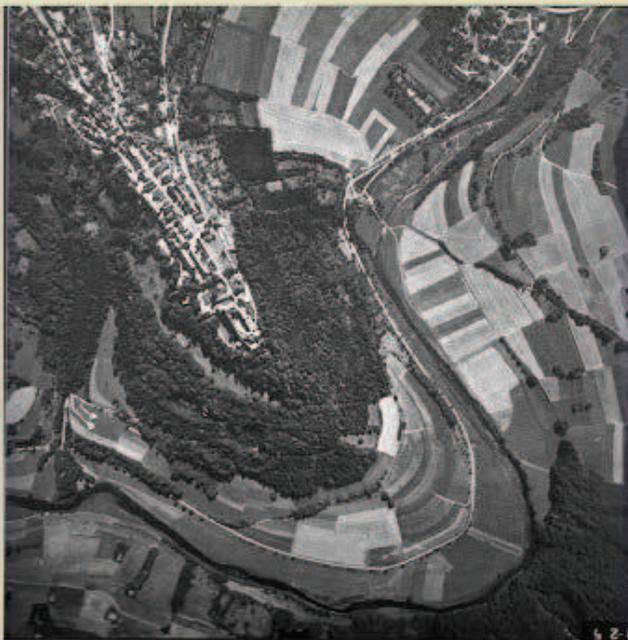
Canales del espectro electromagnético

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO: Ordenación y designación de las radiaciones de acuerdo con sus longitudes de onda y/o sus frecuencias de oscilación.





Ortocromática B y N



Pancromática B y N



Infrarroja B y N

**ASPECTOS CUÁNTICOS
DE LA RADIACIÓN
ELECTROMAGNÉTICA**

Max Planck



El joven Planck en su época de estudiante (1878)



Planck en 1929

En 1900, descubrió una constante fundamental, la denominada Constante de Planck, usada para calcular la energía de un fotón. Planck establece que la energía se radia en unidades pequeñas denominadas cuantos.

La ley de Planck relaciona que la energía de cada cuanto es igual a la frecuencia de la radiación multiplicada por la Constante de Planck. Un año después descubrió la ley de radiación del calor, denominada Ley de Planck, que explica el espectro de emisión de un cuerpo negro.

Esta ley se convirtió en una de las bases de la teoría cuántica, que emergió unos años más tarde con la colaboración de Albert Einstein y Niels Bohr.

Nacimiento	23 de abril de 1858 Kiel, Alemania
Fallecimiento	4 de octubre de 1947 Göttingen, Alemania (89 años)
Residencia	 Alemania
Nacionalidad	 Alemán
Campo	Física
Instituciones	Universidad de Lille (1874)
Alma máter	Universidad de Múnich
Supervisor doctoral	Philipp von Jolly
Estudiantes destacados	Gustav Ludwig Hertz Erich Kretschmann Walther Meißner Walter Schottky Max von Laue Max Abraham Moritz Schlick Walther Bothe
Conocido por	Plantar las bases de la teoría Cuántica de la materia e introducir la constante de Planck.
Premios destacados	Premio Nobel de Física en 1918.

COMPORTAMIENTO DE LOS CUERPOS

- **CUERPO BLANCO:** Son reflectores perfectos. Cuando no absorben nada de la energía incidente sino que la reflejan por completo (emisividad nula).
- **CUERPO NEGRO:** Son absorbedores y emisores perfectos. Cuando absorben y emiten toda la energía que reciben (emisividad = 1).
- **CUERPO GRIS:** Sólo emiten una fracción de la energía absorbida pero con igual emitancia radiante en todas las longitudes de onda (emisividad entre 0 y 1).
- **CUERPO SELECTIVO:** Cuando la emisividad varía con la longitud de onda de las radiaciones emitidas.

ASPECTOS CUÁNTICOS

Energía de un fotón

$$Q = h \cdot \nu$$

$$Q = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

c = velocidad de propagación
 λ = longitud de onda
 ν = Frecuencia de oscilación

Q = Energía de un cuanto (fotón) en Joules (J)

h = Constante de Planck. $6,626 \times 10^{-34}$ J s

$$c = \lambda \nu$$

Ley de Stefan-Boltzmann

$$M_n = \sigma T^4$$

$$M_n = \epsilon \sigma T^4$$

$$M_{n\lambda} = \epsilon_\lambda \sigma T^4$$

Cuerpo negro

Cuerpo gris

Cuerpo selectivo

M_n = Emitancia radiante total de la superficie de un material en $W m^{-2}$

σ = Constante de Stefan-Boltzmann. $5,6697 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$

T = Temperatura absoluta (K) del material emisor

ϵ = Emisividad

Ley del desplazamiento de Wien

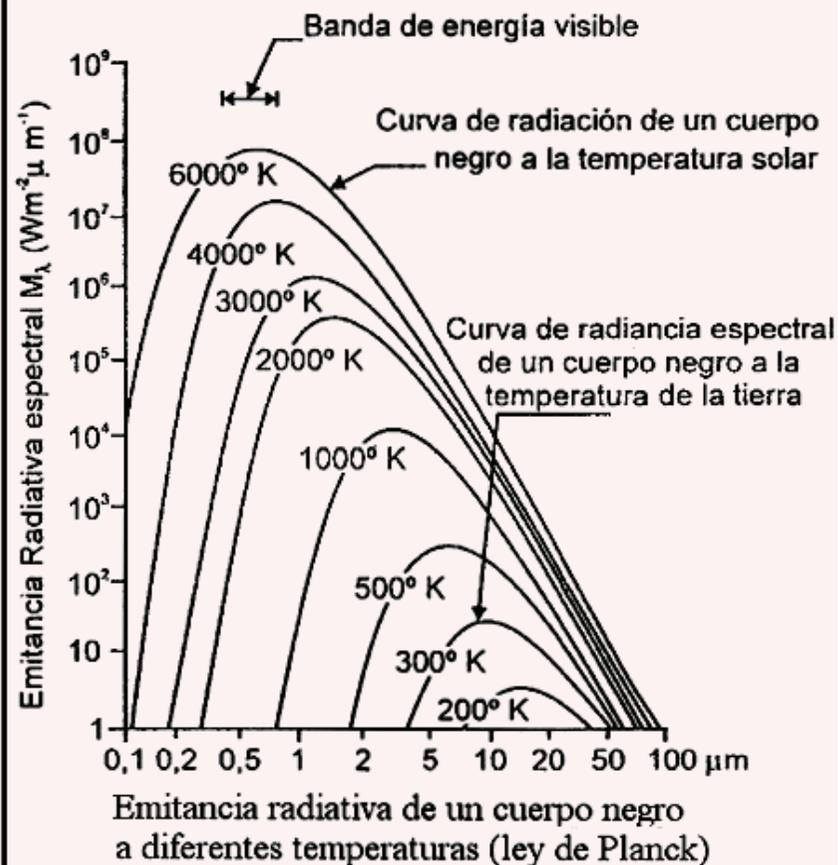
$$\lambda_m = \frac{A}{T}$$

λ_m = Longitud de onda de la emitancia radiante espectral máxima

$A = 2898 \mu m K$

T = Temperatura absoluta (K)

Ley del desplazamiento de Wien



Cátedras de Fotointerpretación
 y Teledetección
 Profesor: Ing. J. M. Racca

LEY DE PLANCK

La emitancia radiativa M de un cuerpo negro es:

$$M_{n,\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left\{ \exp \frac{hc}{\lambda kT} - 1 \right\}}$$

$$M_{n,\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left\{ \exp \frac{c_2}{\lambda T} - 1 \right\}}$$

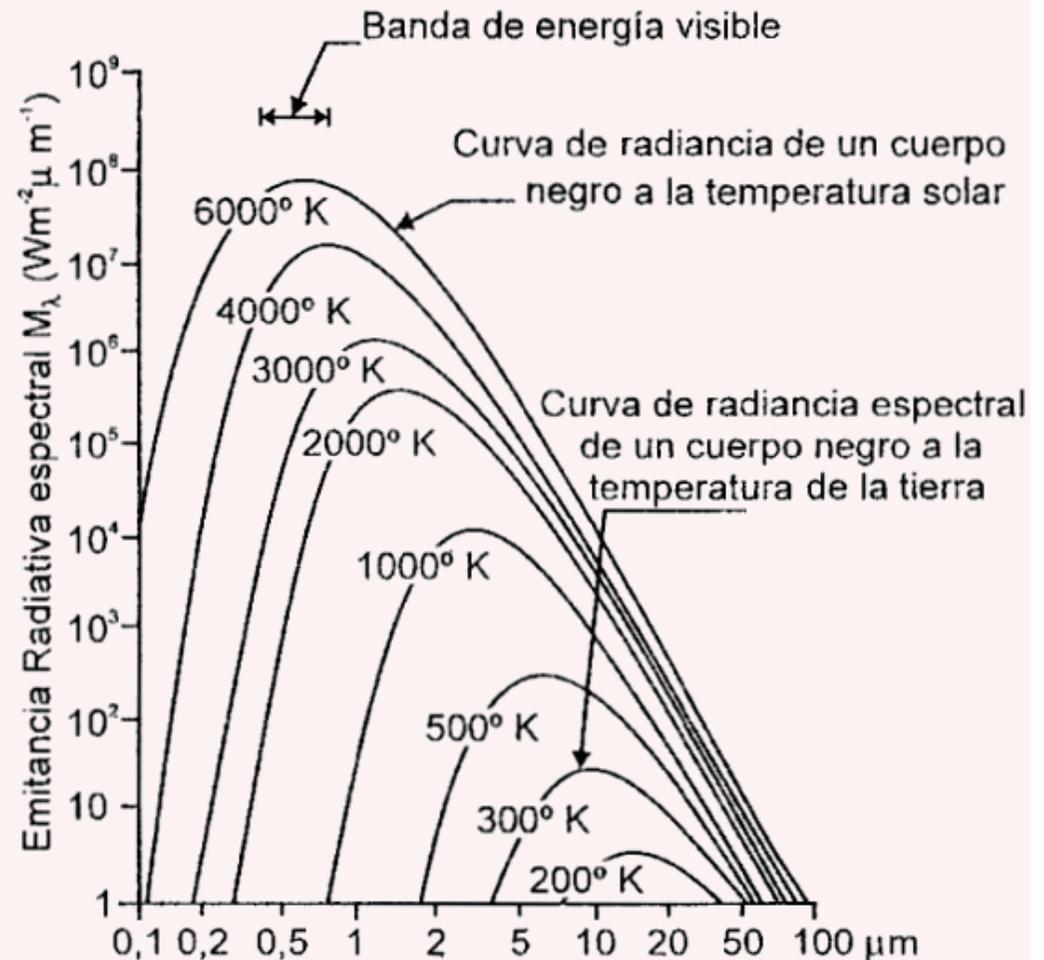
h : constante de Planck
($6,626 \times 10^{-34} \text{ W s}^2$)

k : constante de Boltzmann
($1,38 \times 10^{-23} \text{ W s}^2 \text{ K}^{-1}$)

c : velocidad de la luz

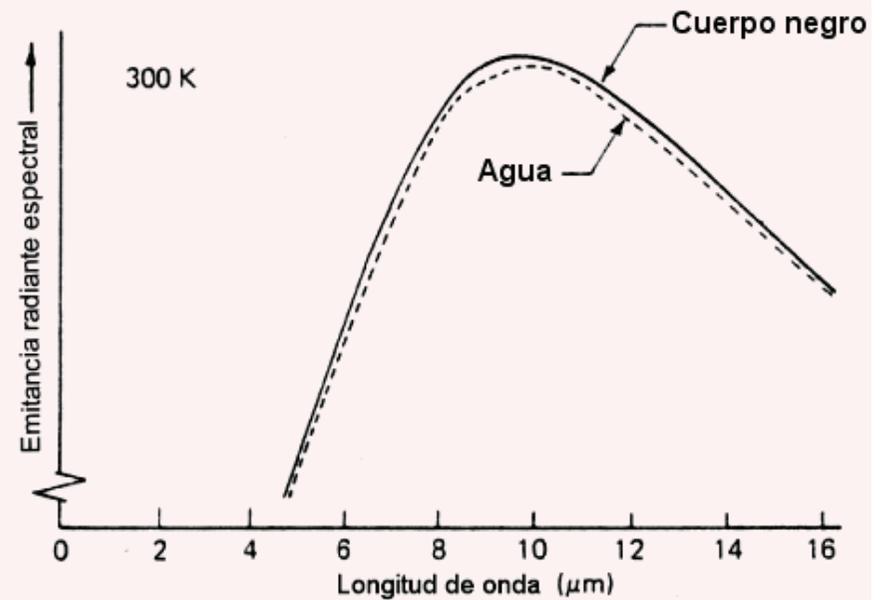
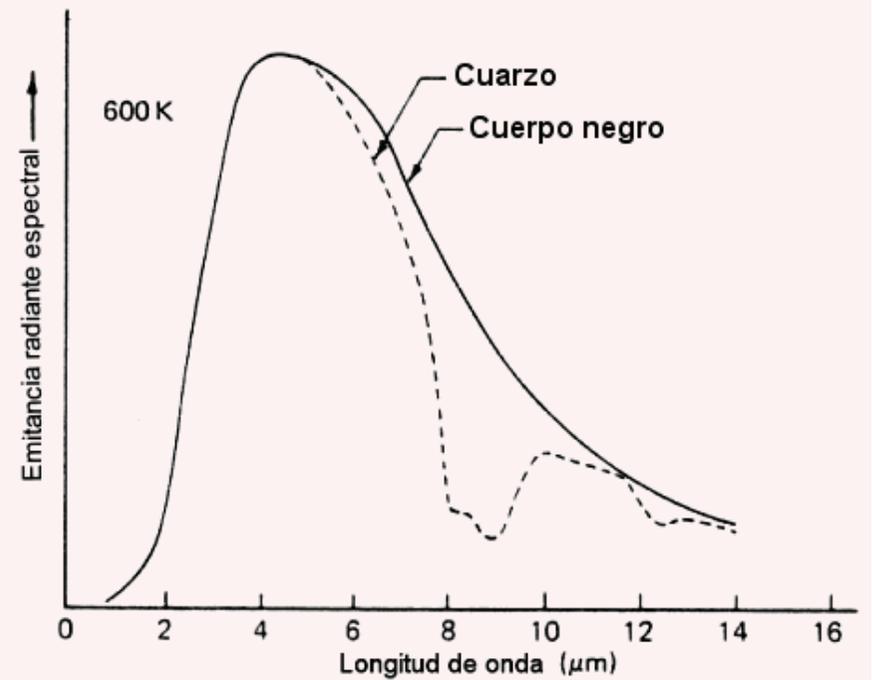
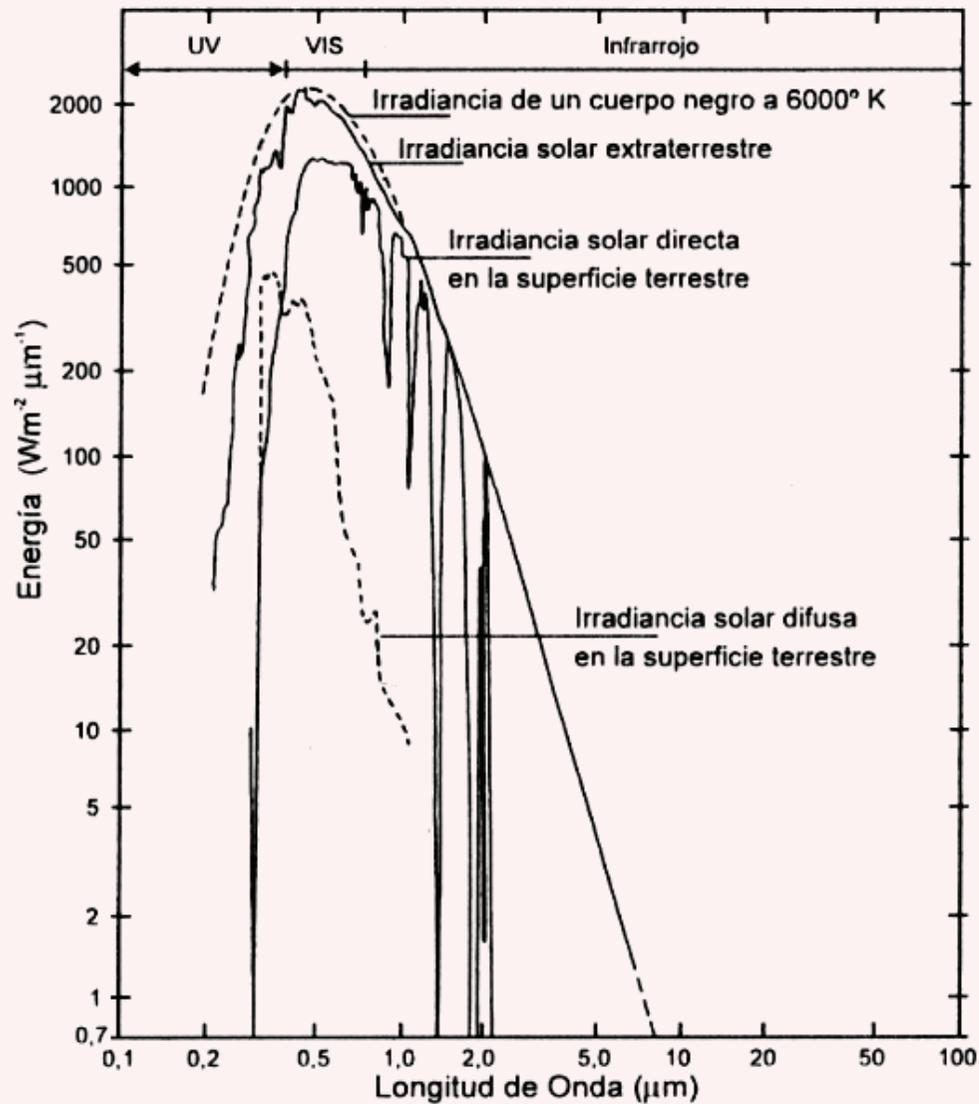
λ : longitud de onda

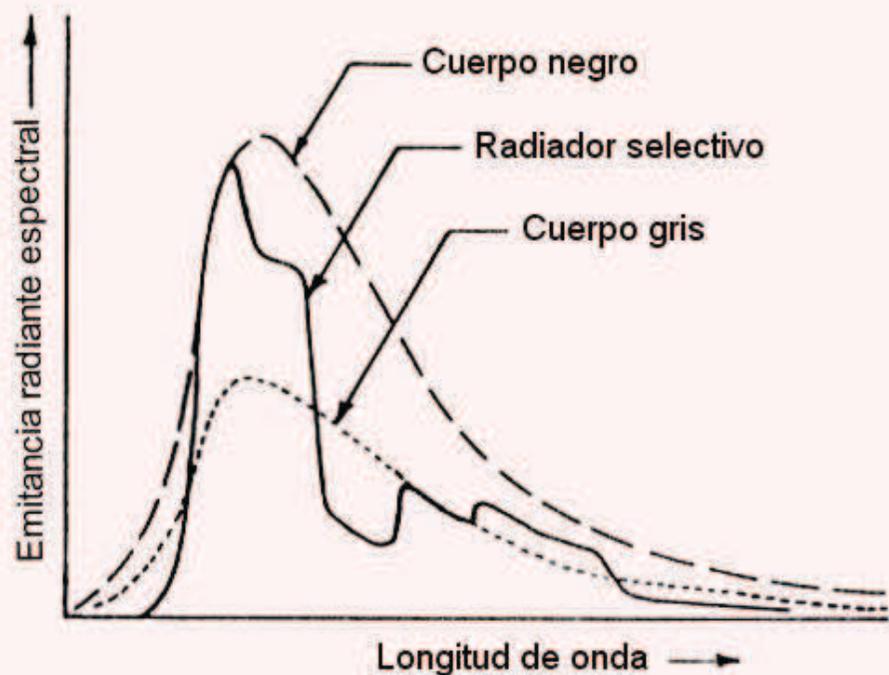
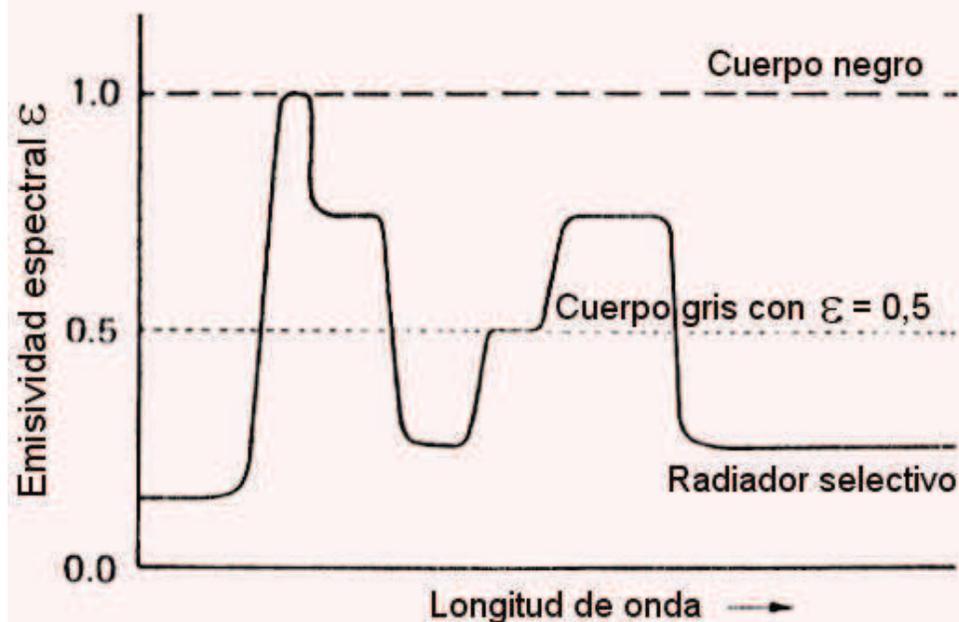
T : temperatura absoluta



Emitancia radiativa espectral de un cuerpo negro a diferentes temperaturas.

EMITANCIA RADIANTE ESPECTRAL



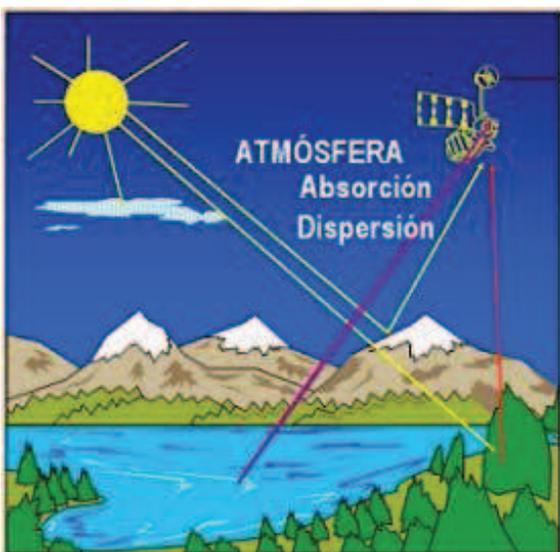


Valores de emisividad de distintas cubiertas

Tipo de cubierta	Emisividad
Urbana/construcciones densas	0.946
Área suburbana	0.964
Área urbana mixta	0.950
Área rural	0.980
Mar	0.990

Valores típicos de emisividad de varios materiales

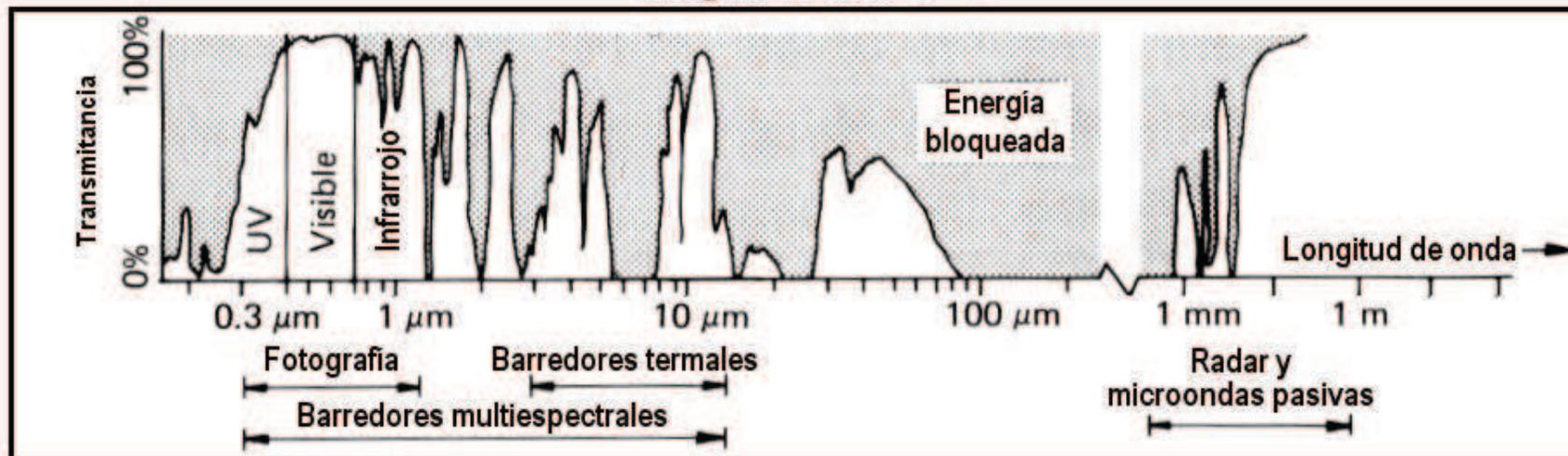
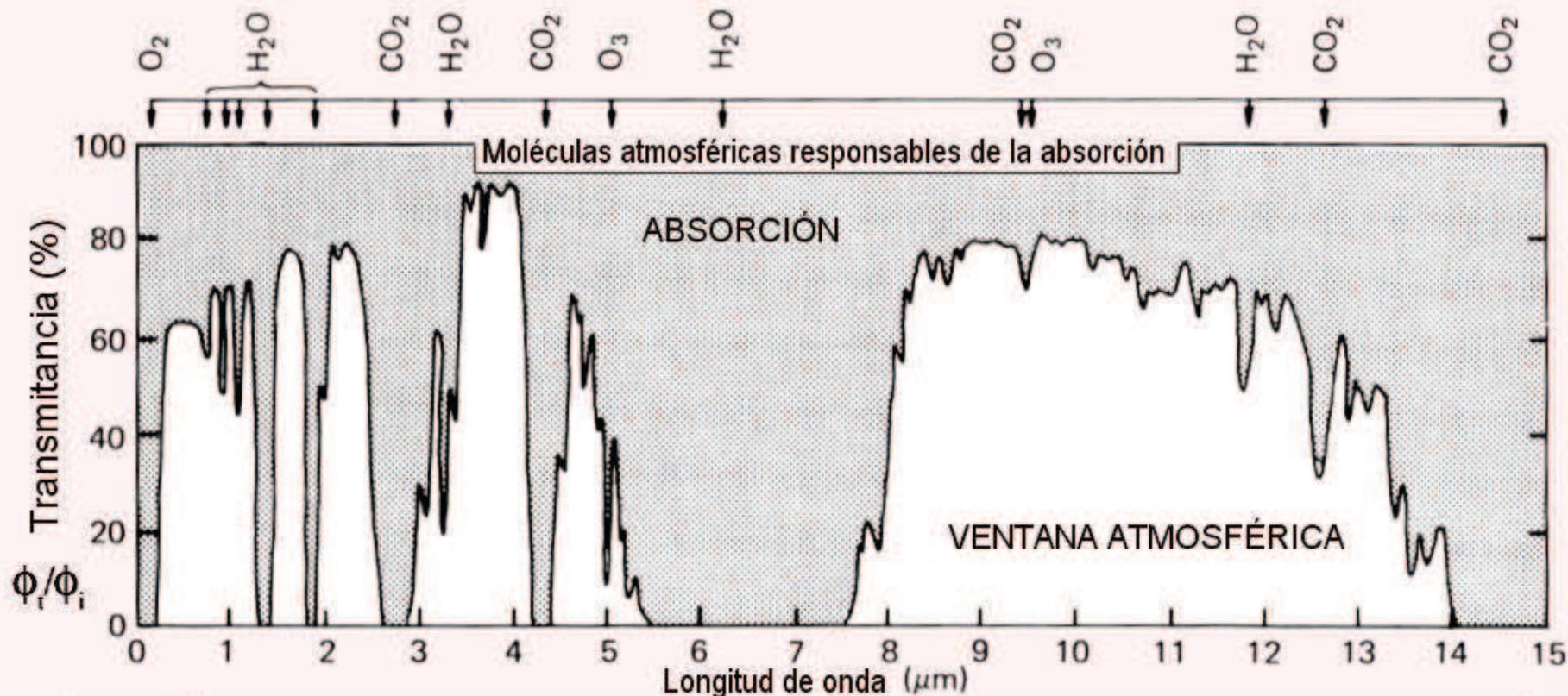
Material	Temperatura de la muestra Celsius	Emisividad (ϵ)
Piel humana	32	0.98
Agua destilada	20	0.96
Hielo	-10	0.96
Carbón	20	0.95
Suelo húmedo	20	0.95
Vidrio	20	0.94
Pintura (media de 16 colores)	100	0.94
Ladrillos	20	0.93
Suelo seco	20	0.92
Concreto	20	0.92
Revoque	20	0.91
Arena	20	0.90
Madera	20	0.90
Nieve	-10	0.85
Aluminio anodizado	100	0.55
Acero inoxidable forjado	20	0.16
Oro altamente pulido	100	0.02



INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA ATMÓSFERA ABSORCIÓN - DISPERSIÓN

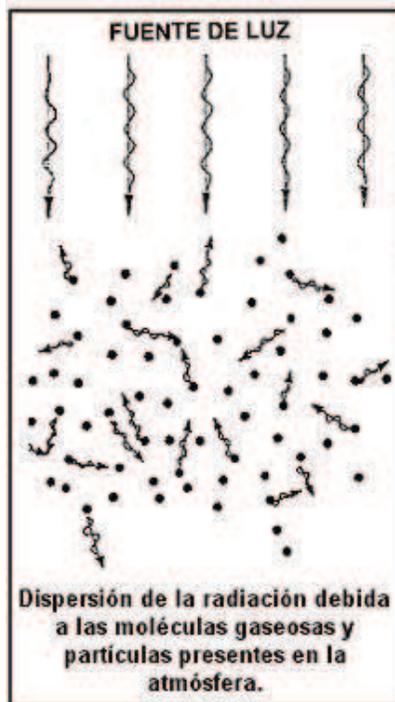
ABSORCIÓN ATMOSFÉRICA

Retención parcial de las radiaciones que realiza la atmósfera, actuando a modo de filtro.

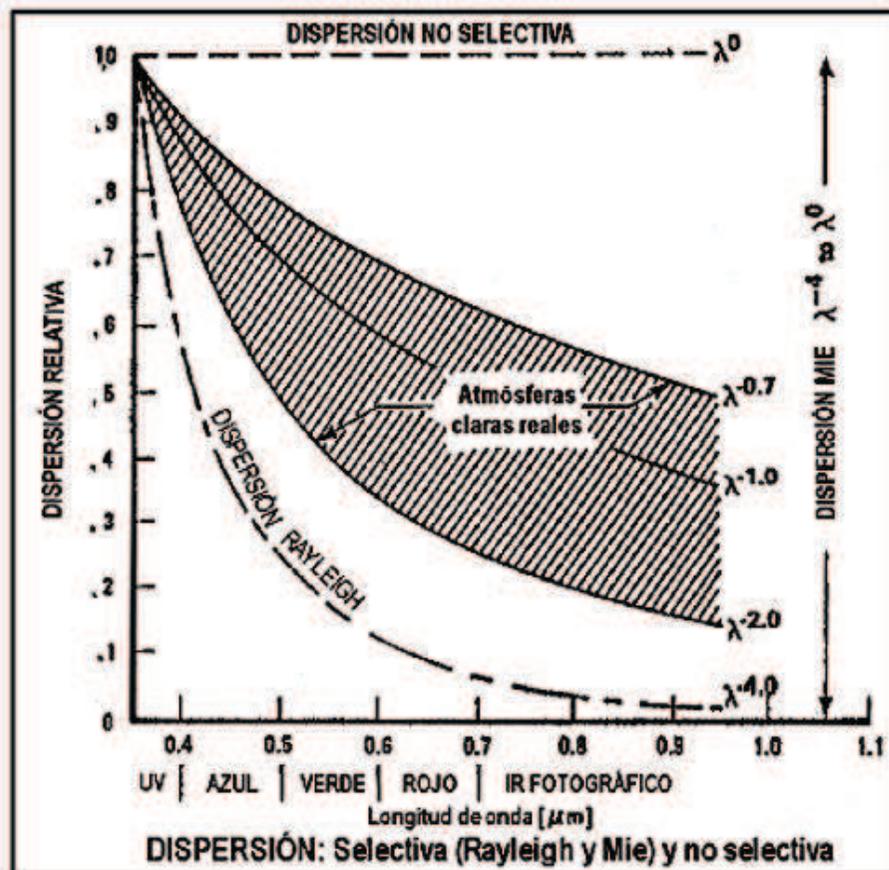
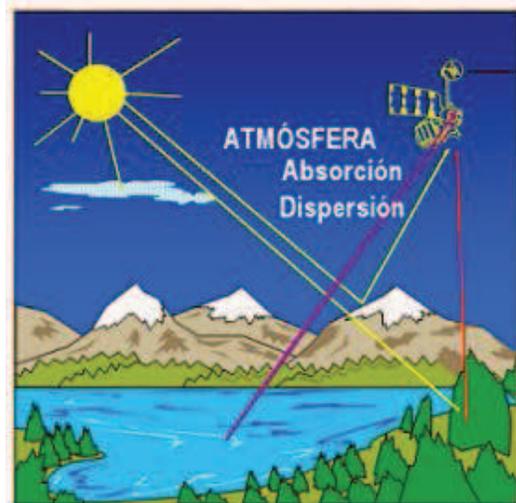


DISPERSIÓN DE LA RADIACIÓN EN LA ATMÓSFERA

Reflexión de las radiaciones en todas direcciones al interactuar con las moléculas gaseosas y partículas presentes en la atmósfera.



PROCESOS DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA			
Proceso de dispersión	Dependencia de la longitud de onda λ	Tamaño aproximado de la partícula, en λ	Tipo de partículas
SELECTIVO			
Rayleigh	λ^{-4}	Tamaño $\ll 0,1 \lambda$	Moléculas de gas
Mie	λ^0 a λ^{-4}	De $0,1$ a 10λ	Humo - bruma
NO SELECTIVO			
	λ^0	Tamaño $> 10 \lambda$	Polvo - niebla - nubes



A. ESCENA ORIGINAL

B. PERFIL DE BRILLO DE LA IMAGEN SIN LUZ DISPERSADA

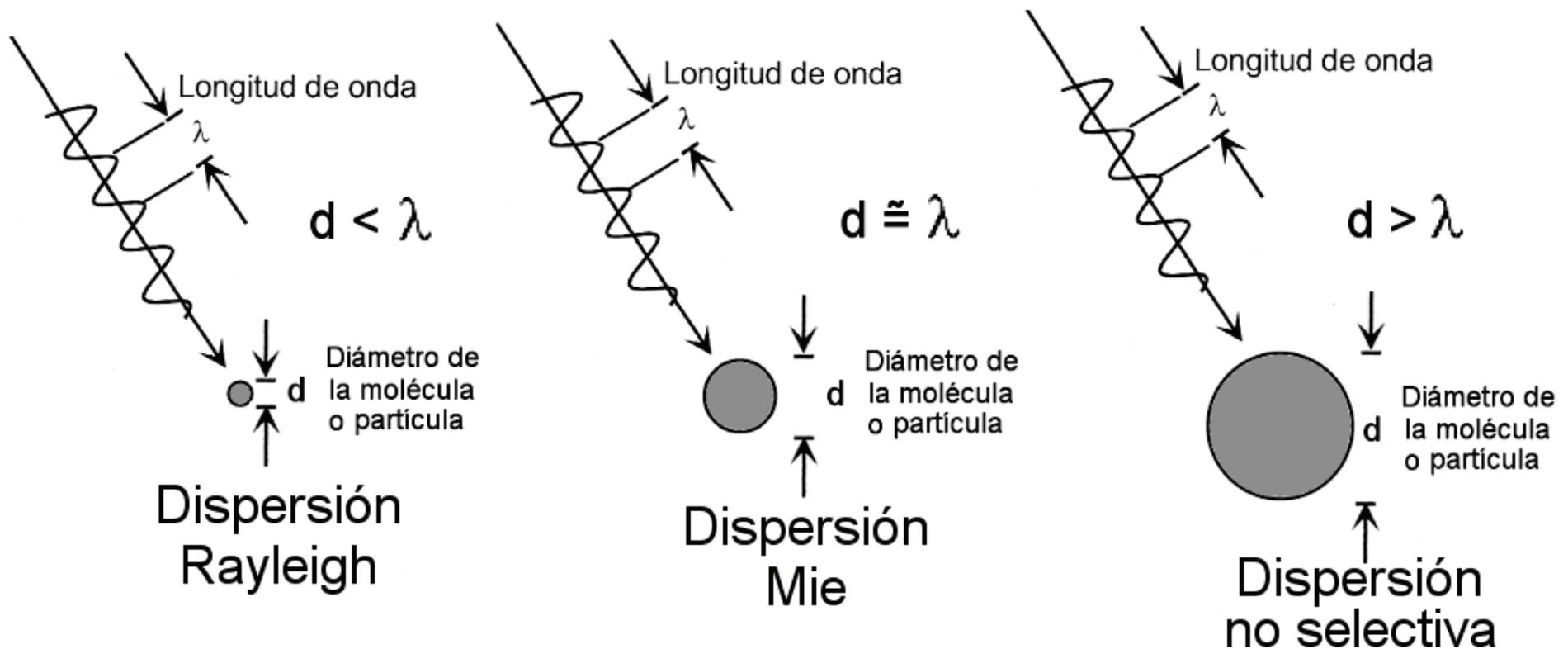
$Cr = \frac{5}{2} = 2,5$

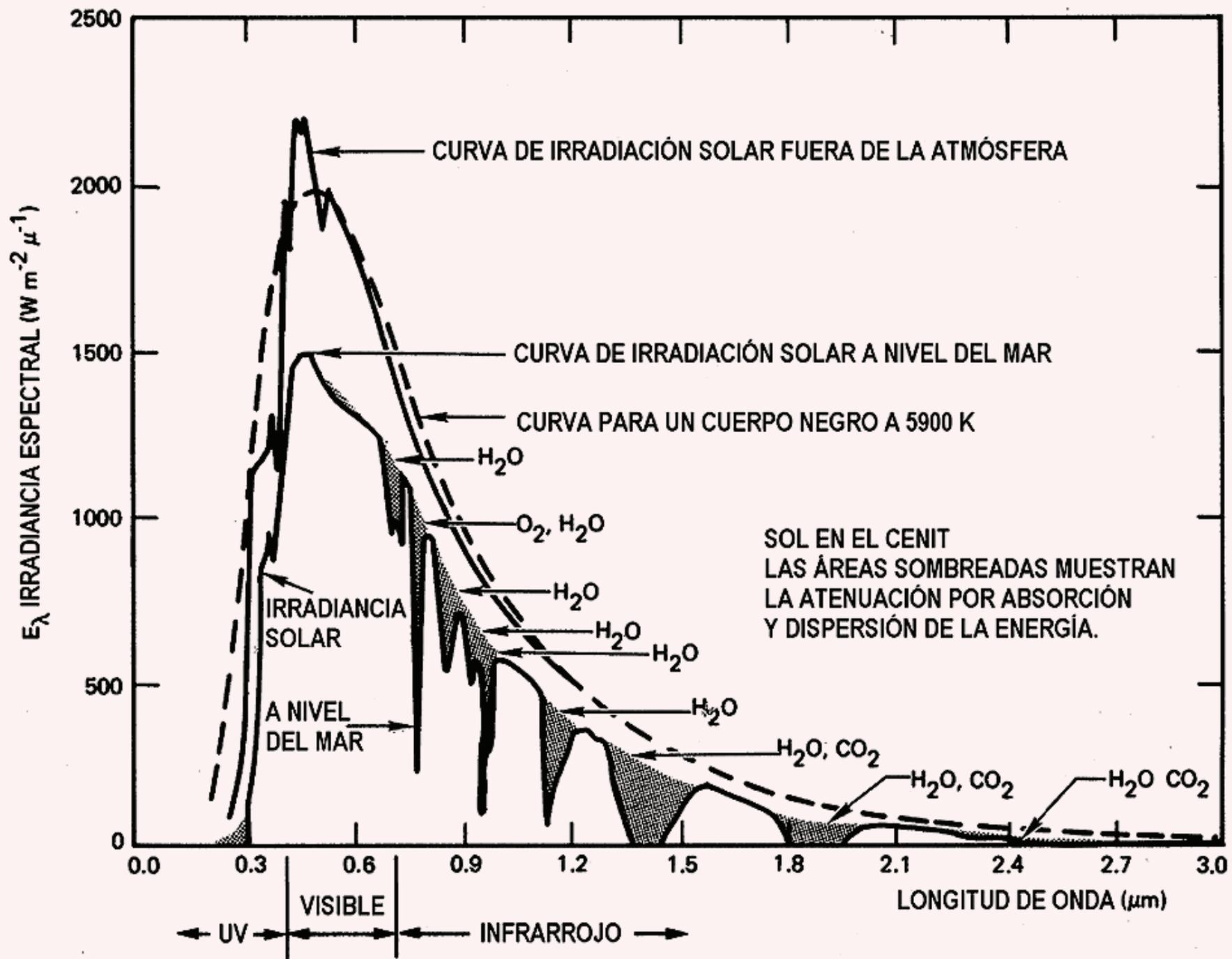
C. PERFIL DE LA IMAGEN CON CINCO UNIDADES DE BRILLO ADICIONADAS POR LA LUZ DISPERSADA

EFECTO DE LA LUZ DISPERSADA SOBRE LA RELACIÓN DE CONTRASTE

PROCESOS DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA

Proceso de dispersión	Dependencia de la longitud de onda λ	Tamaño aproximado de la partícula, en λ	Tipo de partículas
SELECTIVO			
Rayleigh	λ^{-4}	Tamaño $\ll 0,1 \lambda$	Moléculas de gas
Mie	λ^0 a λ^{-4}	De $0,1$ a 10λ	Humo - Bruma
NO SELECTIVO	λ^0	Mayor que λ	Polvo - Niebla - Nubes





REFLEXIÓN DE LA RADIACIÓN EN EL TERRENO

REFLECTANCIA O REFLECTIVIDAD: Proporción de energía que se refleja en una superficie en relación con la que incide sobre ella.

$$\rho = \phi_r / \phi_i$$

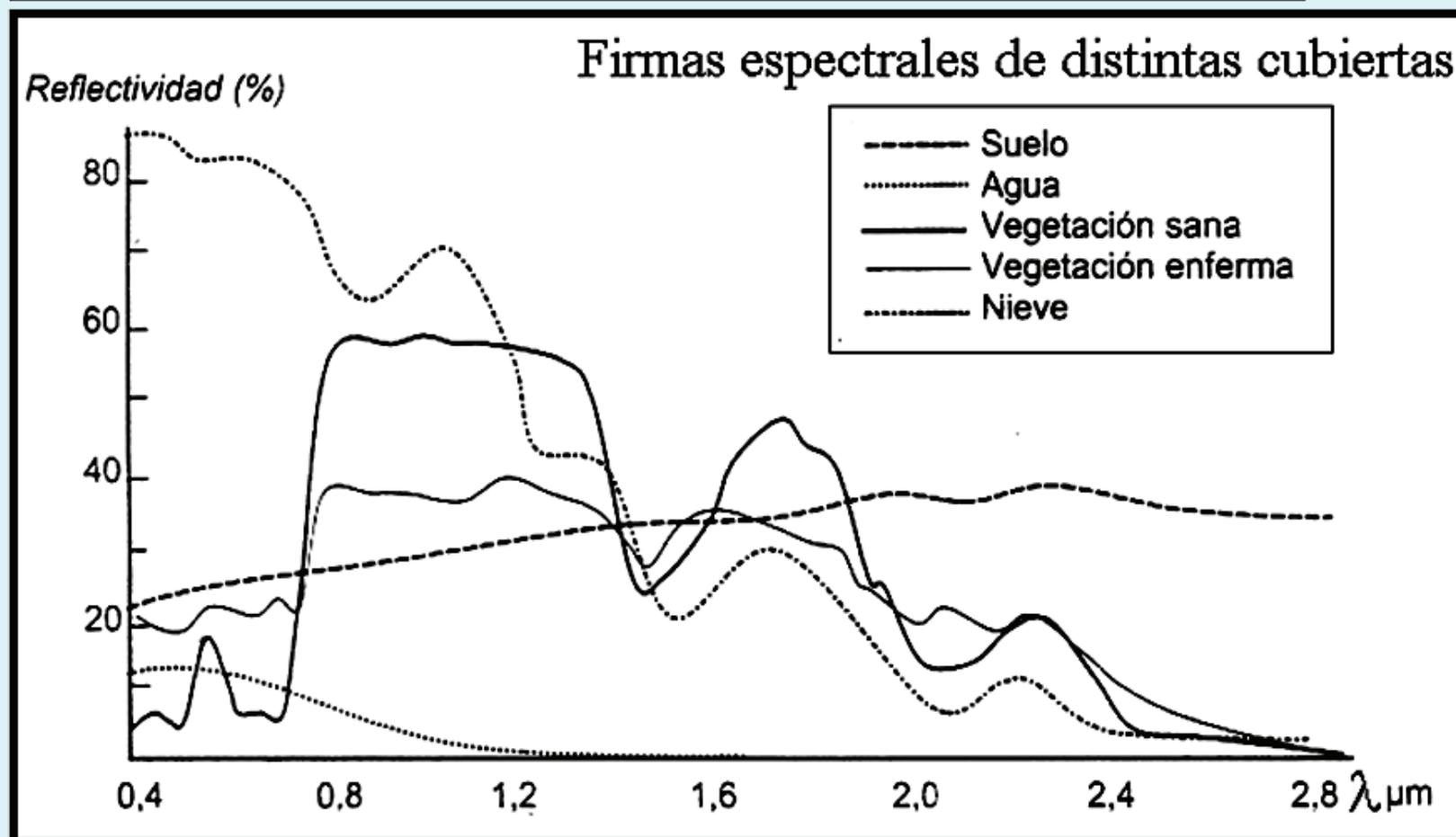
$$\rho\% = \phi_r / \phi_i \times 100$$

REFLECTANCIA ESPECTRAL: Los cuerpos no reflejan en la misma proporción las radiaciones en las diferentes longitudes de onda.

$$\rho(\lambda) = \phi_r(\lambda) / \phi_i(\lambda)$$

$$\rho(\lambda)\% = \phi_r(\lambda) / \phi_i(\lambda) \times 100$$

FIRMA ESPECTRAL O CURVA DE REFLECTANCIA DE LOS ELEMENTOS

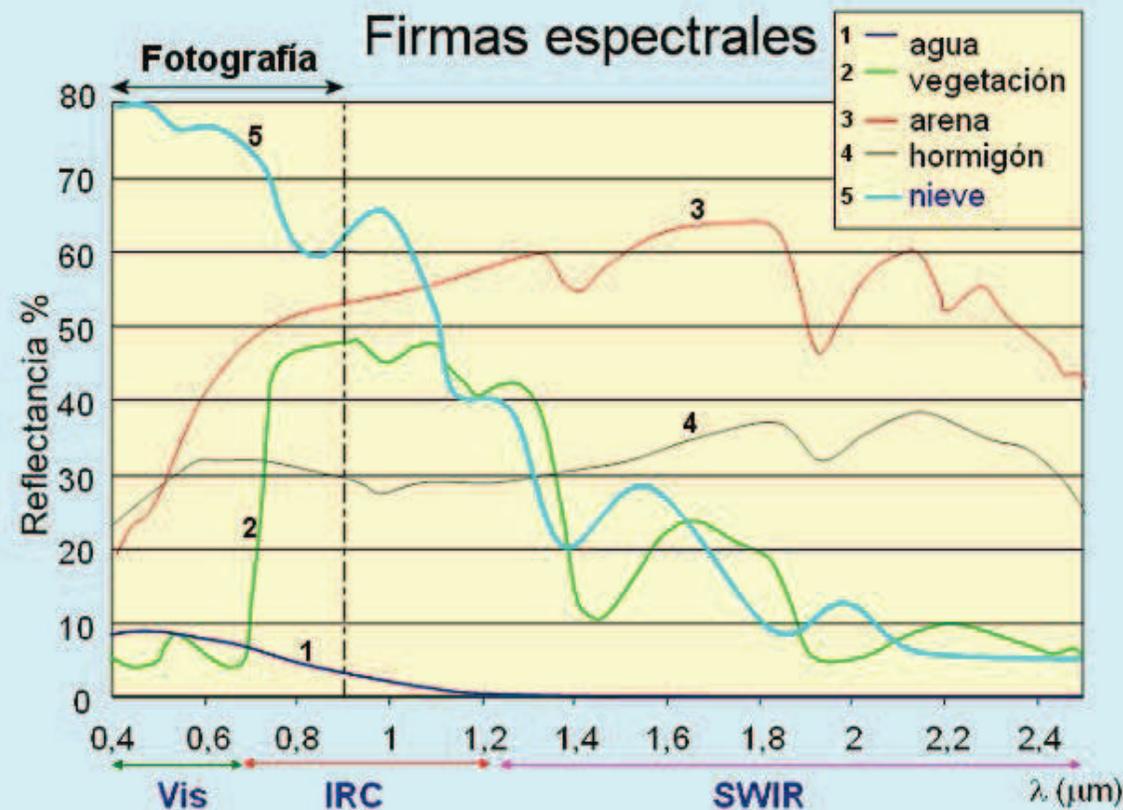


Pautas básicas para lectura de las imágenes

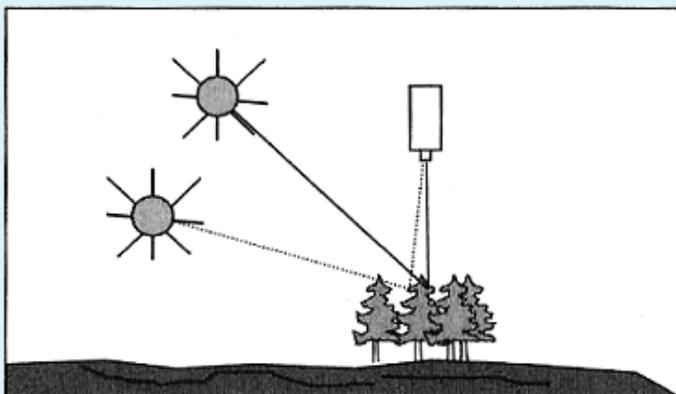
A) Conocer la codificación

Normalmente las imágenes se codifican con tonos claros o con valores digitales elevados cuando ingresa al sensor mucha radiación y con tonos oscuros o con números digitales bajos en caso contrario. En el caso de imágenes cromáticas hay que saber qué colores se asignaron a los distintos rangos espectrales en las tres componentes.

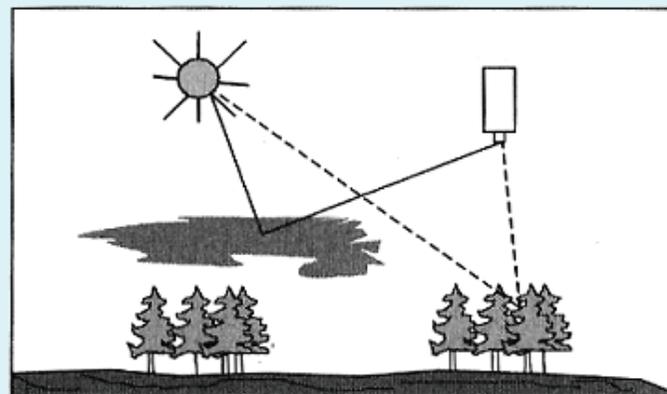
B) Respuesta espectral de la cubierta del terreno



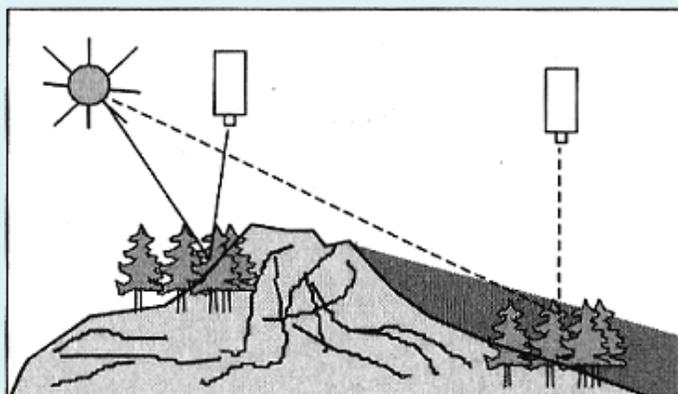
FACTORES QUE MODIFICAN LA FIRMA ESPECTRAL



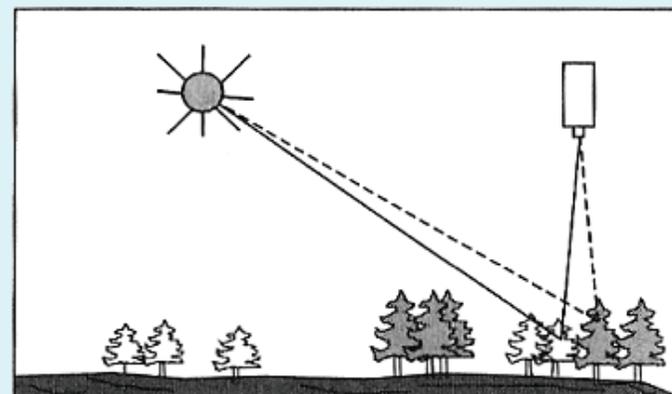
(1) variaciones en la altura solar



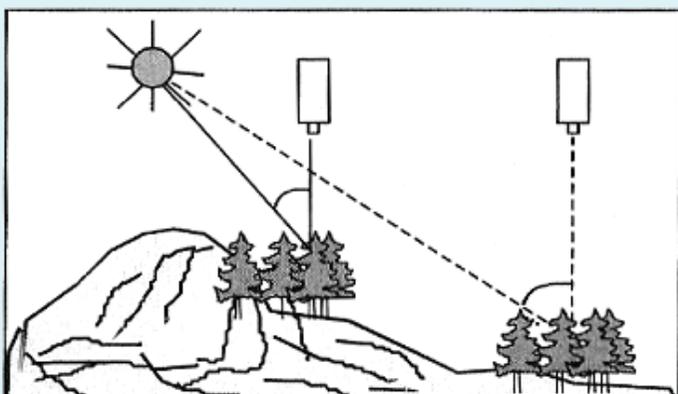
(4) atmósfera



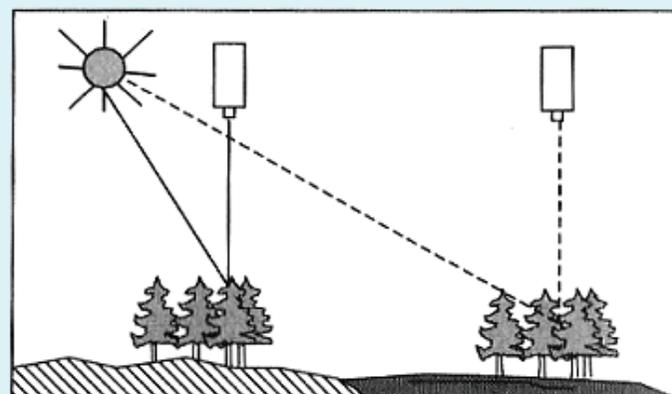
(2) orientación de la vertiente



(5) condición fenológica

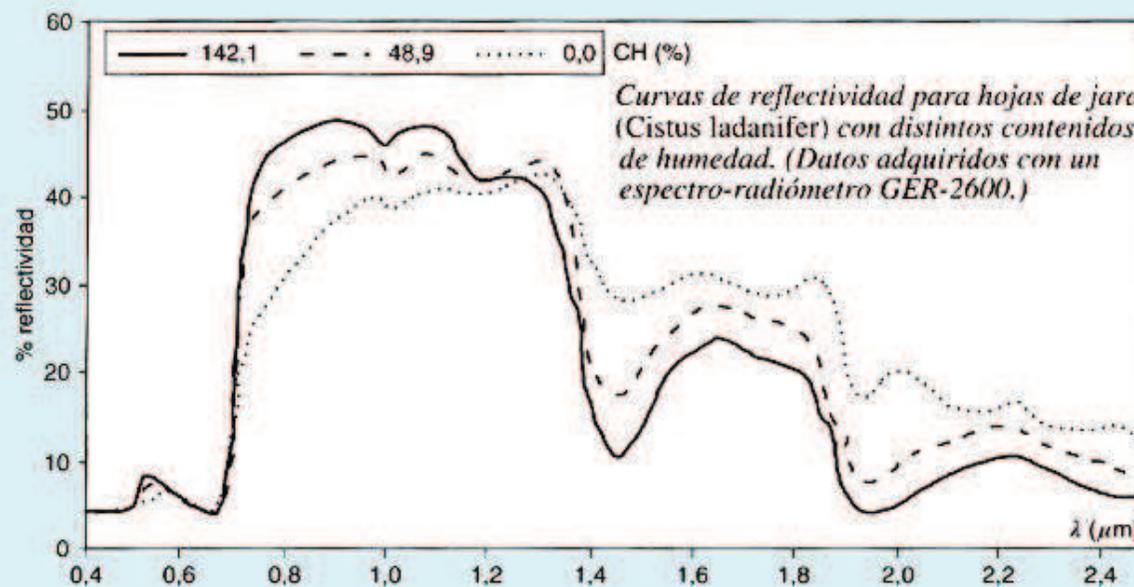
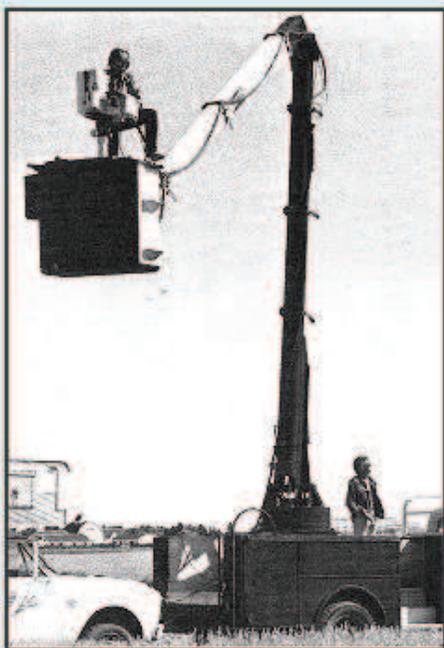
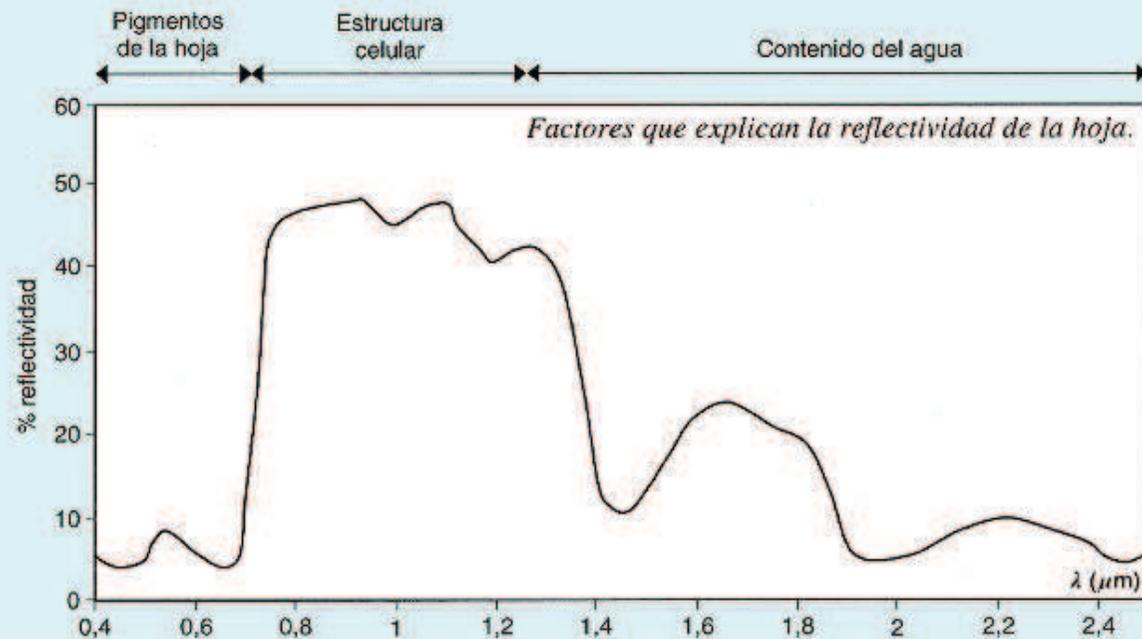
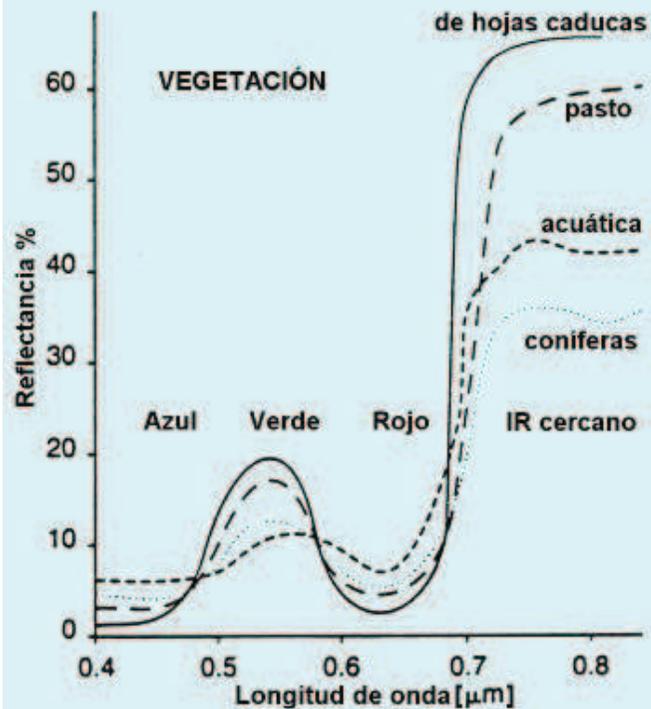


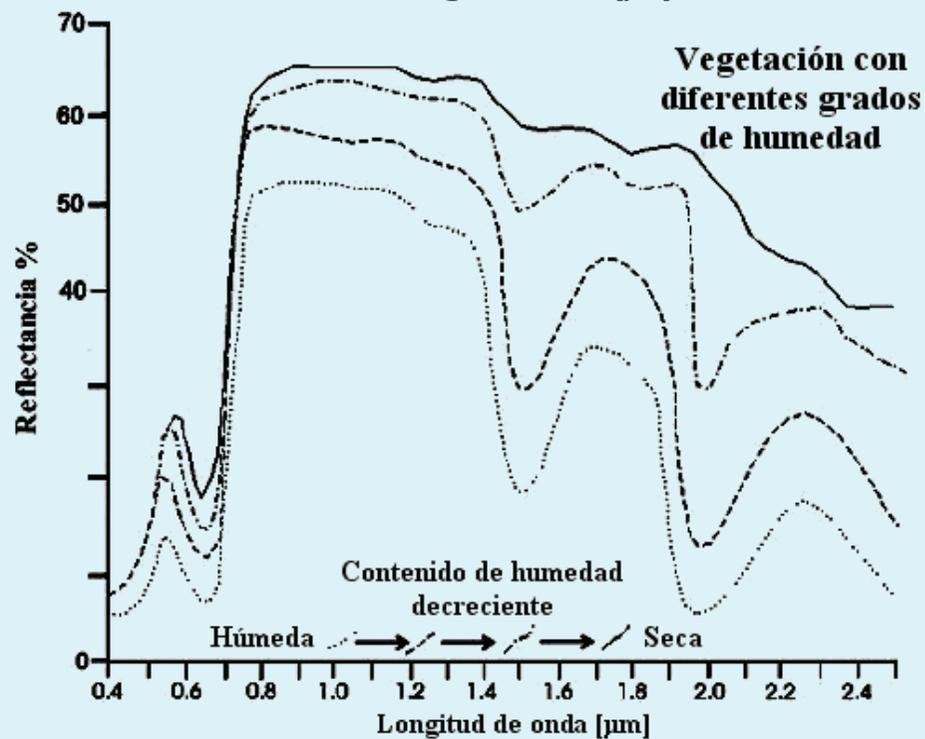
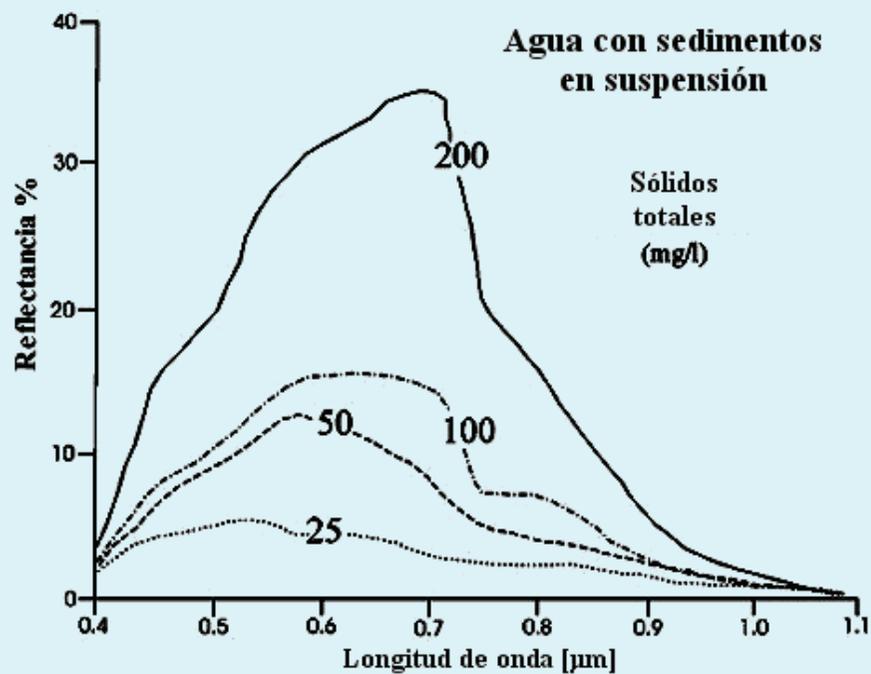
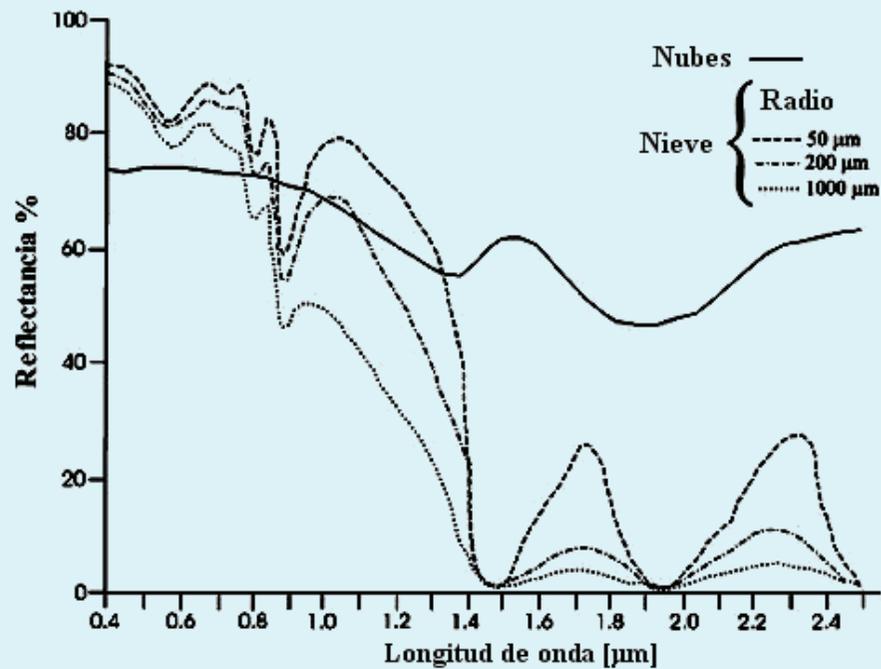
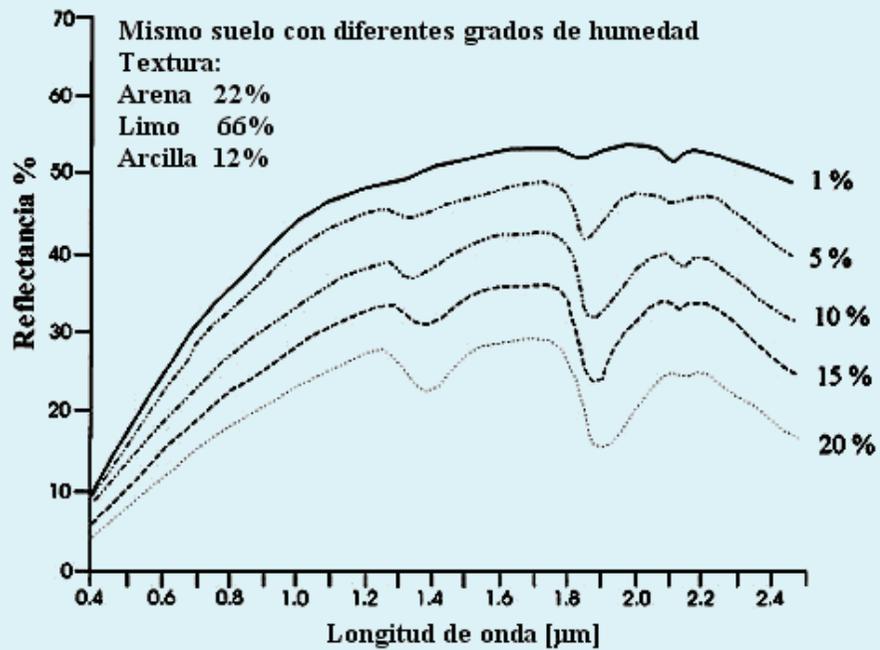
(3) pendiente

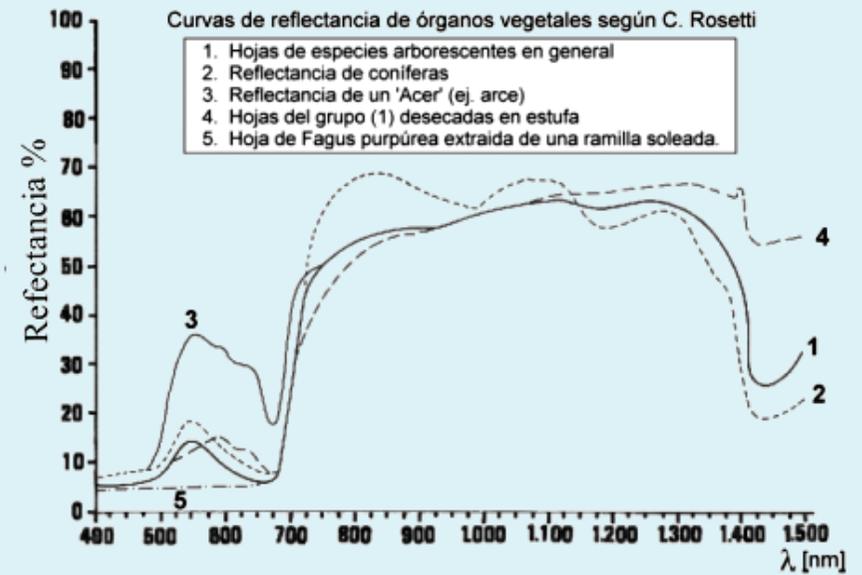
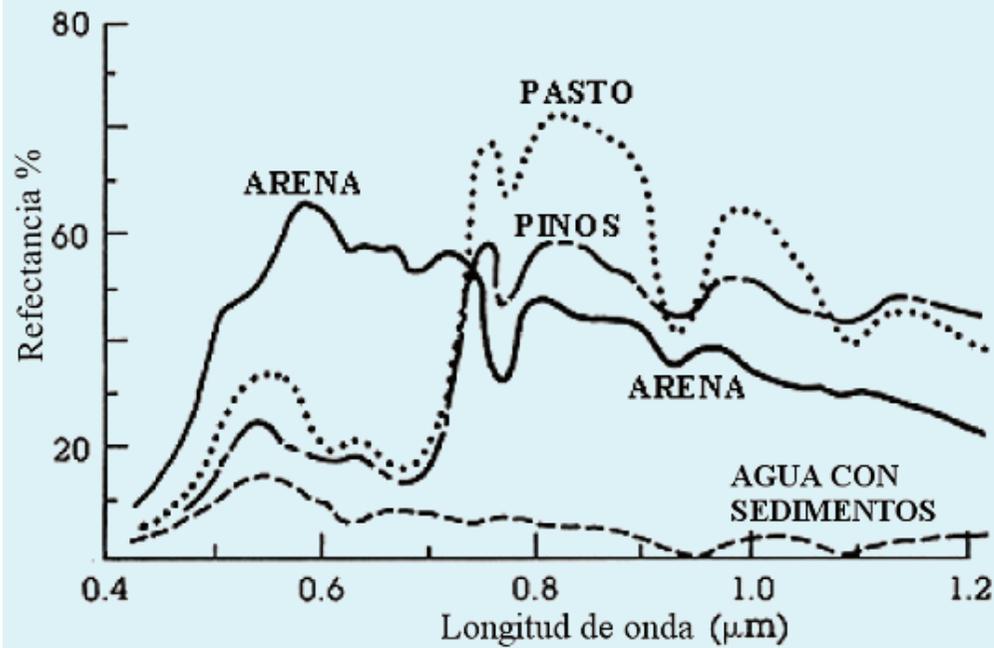


(6) sustrato edáfico.

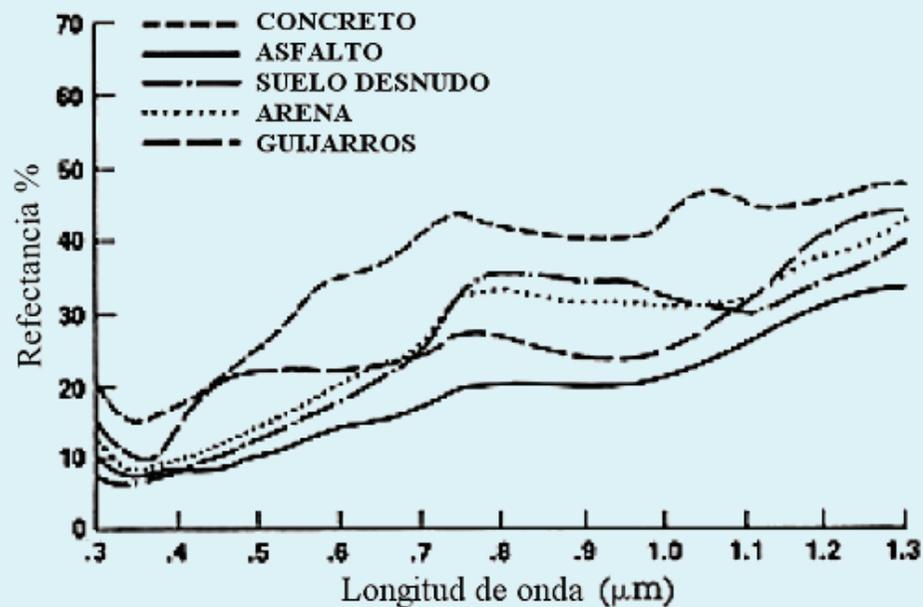
VEGETACIÓN



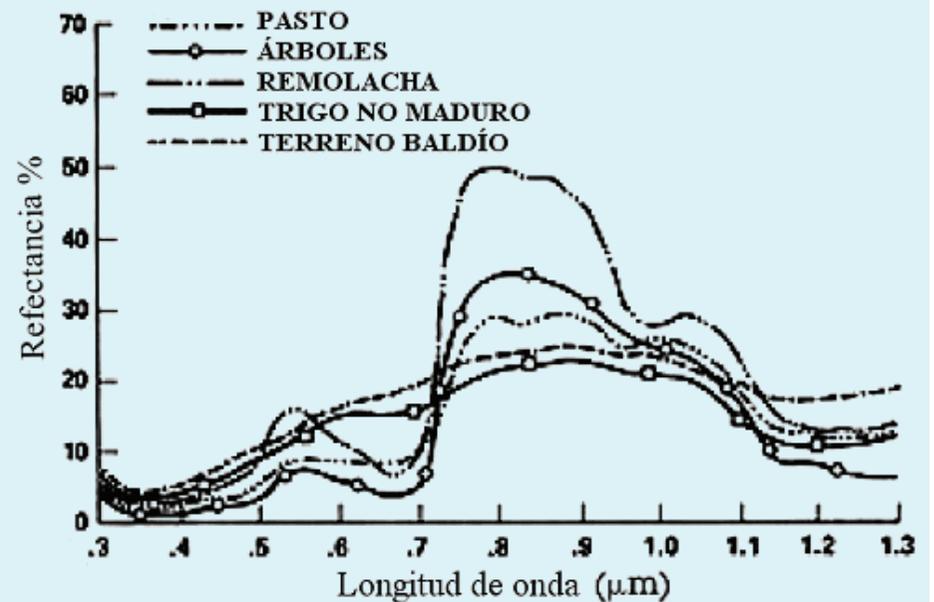


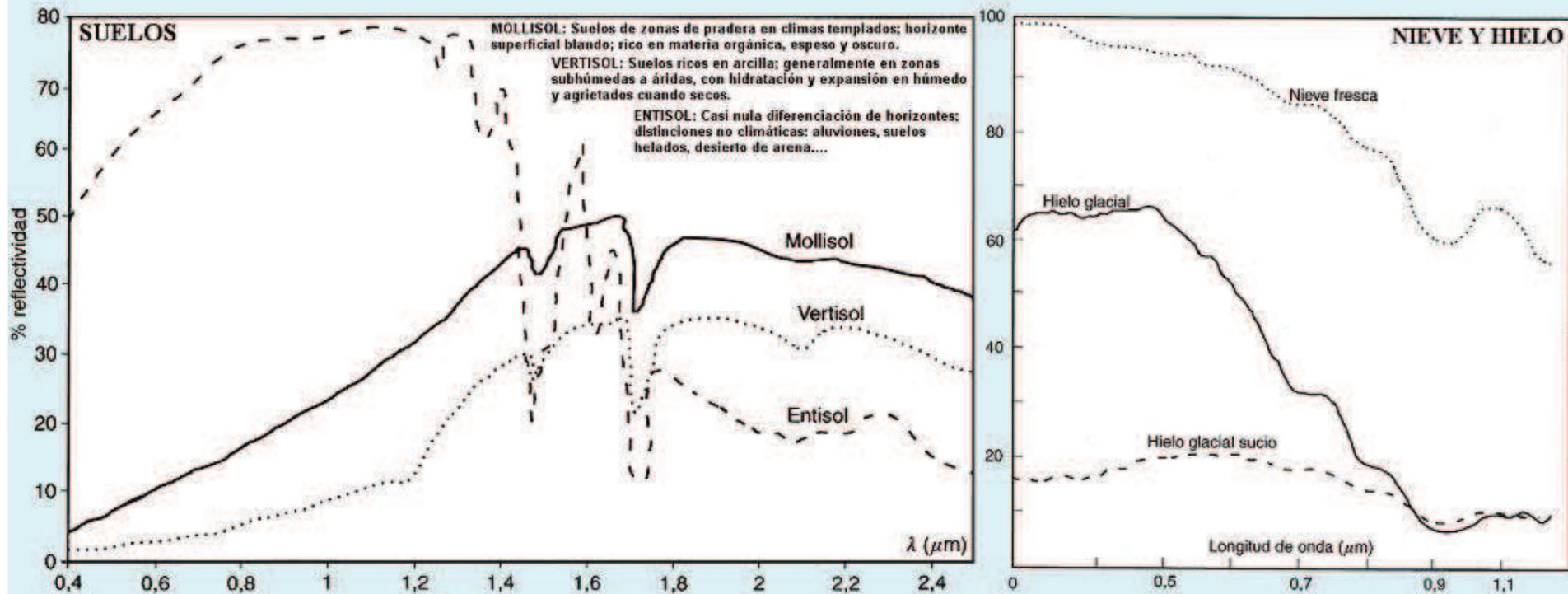


ÁREAS SIN VEGETACIÓN

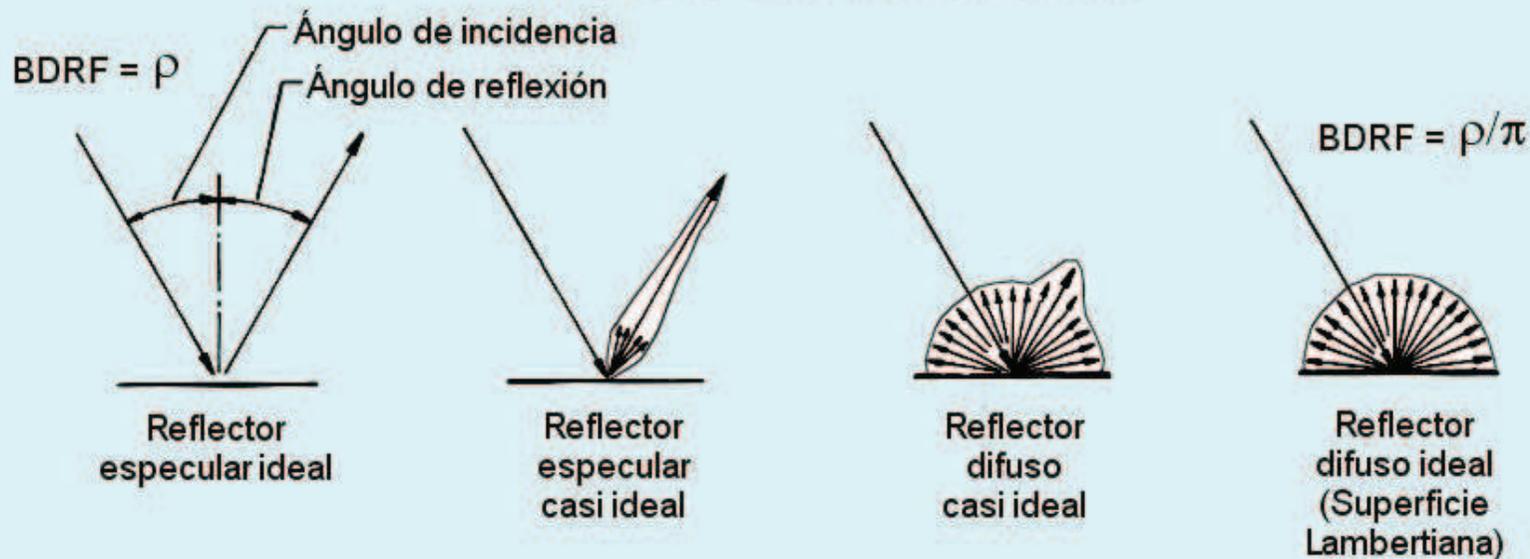


ÁREAS CON VEGETACIÓN



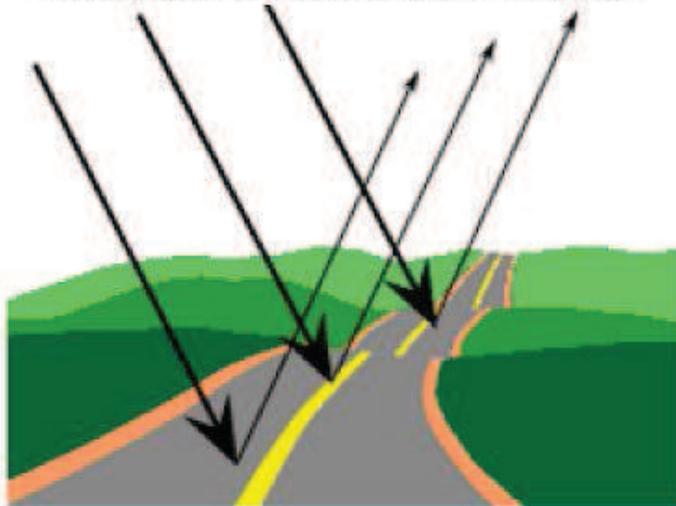


TIPOS DE REFLECTORES

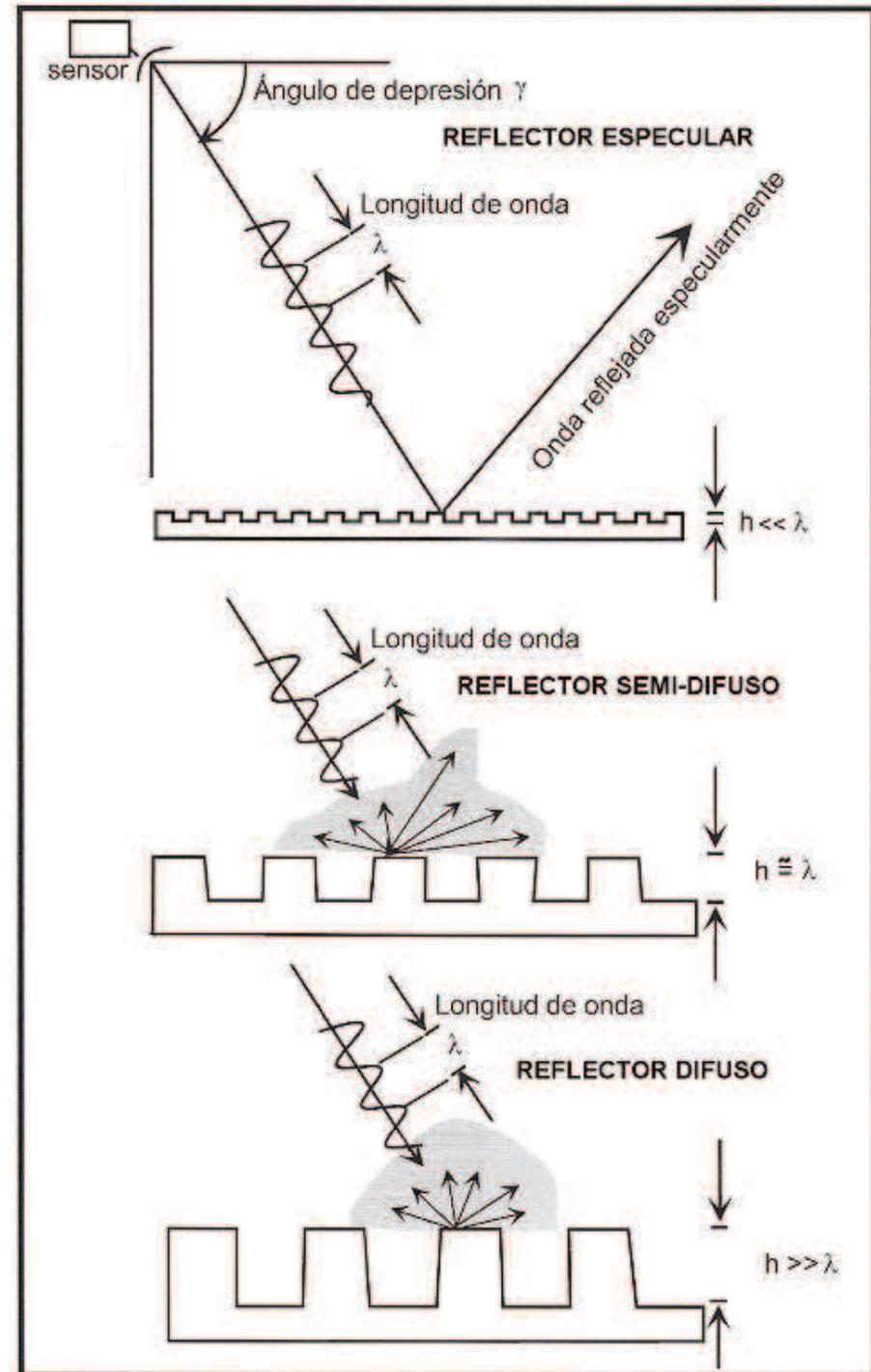
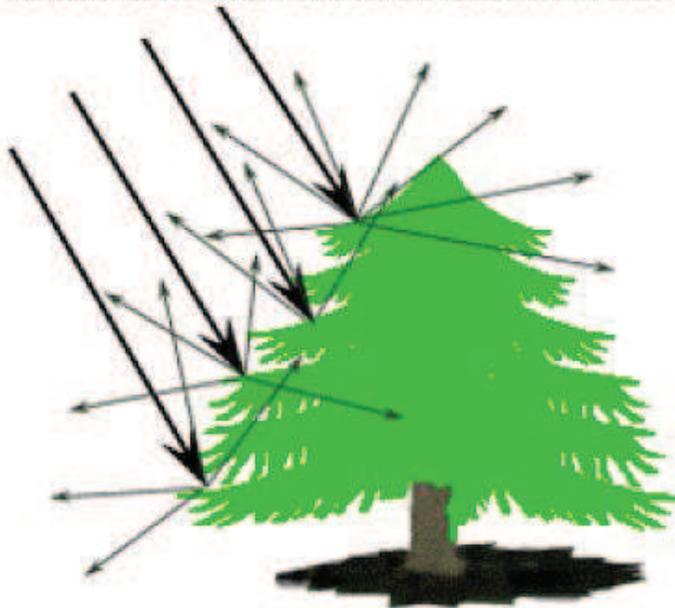


TIPOS DE REFLECTORES

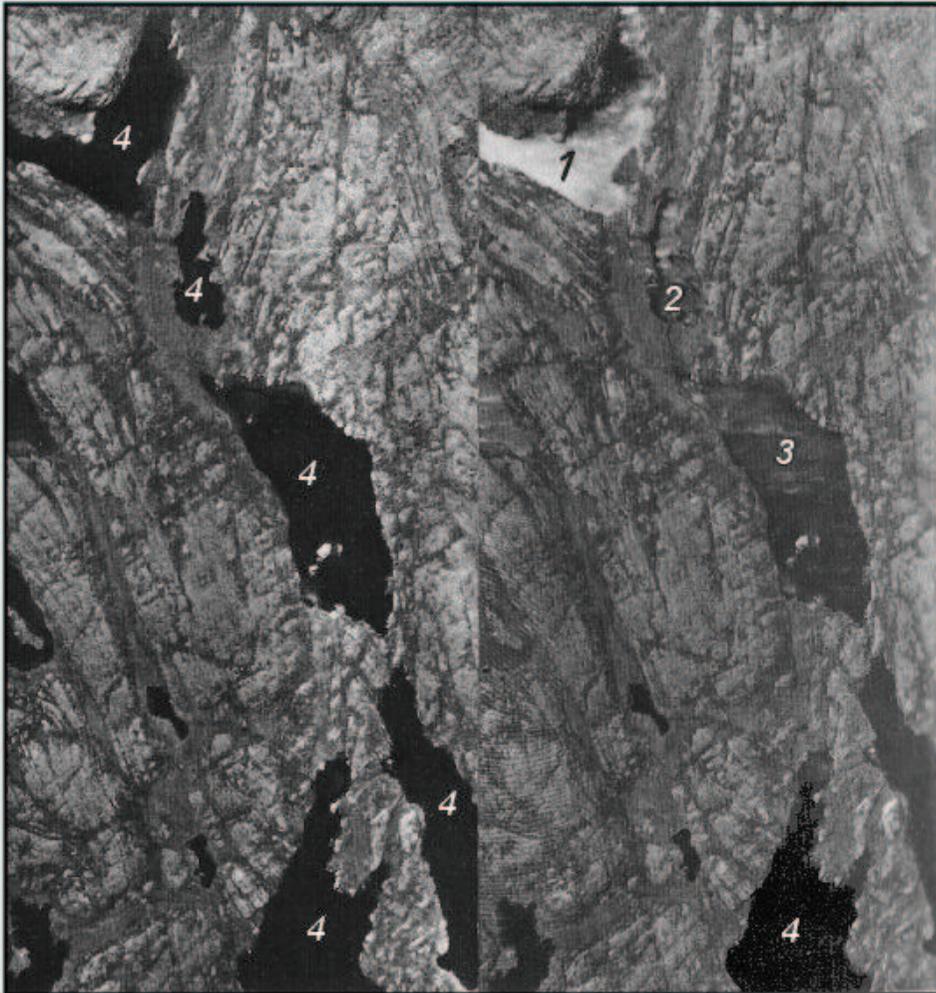
REFLECTOR ESPECULAR



REFLECTOR LAMBERTIANO

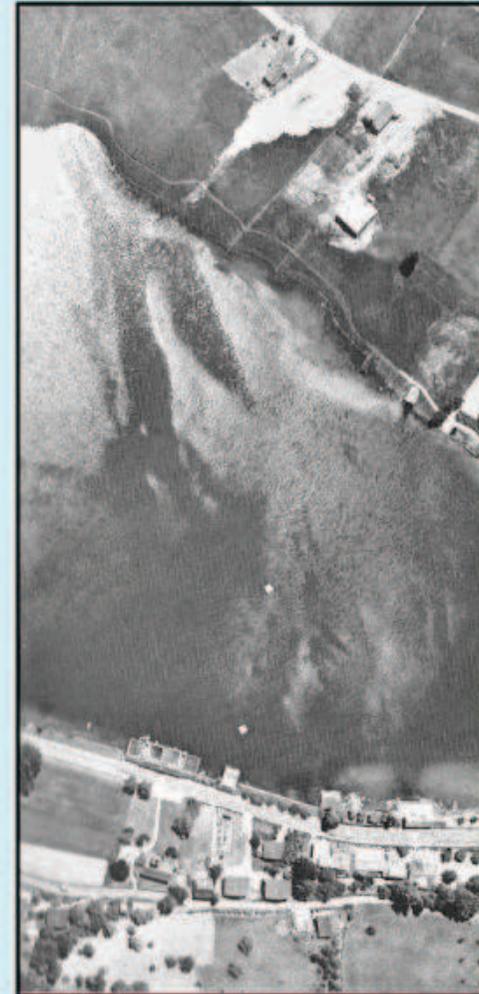


Diferencias de reflectancia debido a diferentes ángulos de reflexión



Muchas de las variaciones de tono se deben a diferencias en el ángulo de iluminación:

- 1 - Reflexión especular total en el agua del lago.
- 2 - Reflexión media - se hace difícil diferenciar el lago
- 3 - Reflexión media - el oleaje permite diferenciar el lago
- 4 - Reflexión normal - revela la reflectancia del agua.



Las diferencias de reflectancia en el cuerpo de agua pueden resultar de diferentes ángulos de reflexión de la luz causados por el viento que forma olas o por corrientes locales.