Estimación de parámetros biofísicos de superficie a partir de datos de satélite

CURSO DE POSGRADO

Bahía Blanca, 10 - 14 de noviembre de 2014

Doctores Raúl Rivas y Facundo Carmona

Curso elaborado para la
Universidad Nacional del Sur
Departamento de Geografía y Turismo

Tandil, Buenos Aires, Argentina

Contoacto
www.ihlla.org.ar
Te 00 54 249 438 5520 ext. 1

Miembros del Instituto de Hidrología de Llanuras
Comisión de Investigaciones Científicas
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires

http://teledeteccion.wix.com/gtihlla

ihlla
Instituto de Hidrología de Llanuras
Dr. Eduardo Jorge Usunoff

ORGANIZACIÓN

Estimación de parámetros biofísicos de superficie a partir de datos de satélite

1. Repaso de conceptos físicos
2. Bandas espectrales
3. **Reflectividad TOA**
4. ***Corrección en el espectro solar (Reflec. de superficie)***
5. ***Temperatura de brillo***
6. ***Corrección en el espectro térmico (Método Monocanal)***
7. Apéndice – *conceptos adicionales de interés (conceptos físicos)*

1. REPASO DE CONCEPTOS FÍSICOS

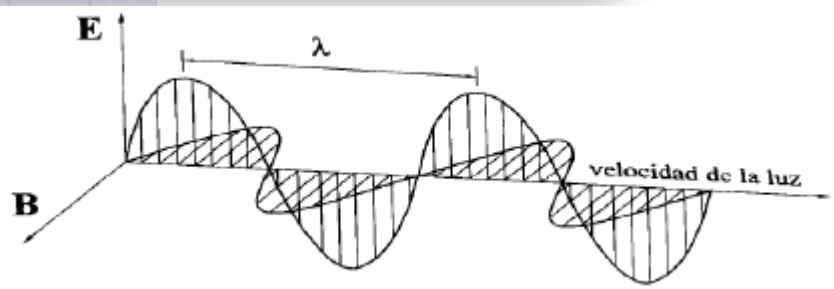
La **radiación electromagnética (REM)** se puede considerar bien como una serie de ondas o bien como un chorro de partículas, llamadas fotones. Esta dualidad onda-corpúsculo hace que cada fotón tenga una energía:

$$E = hf \qquad h = 6{,}6260693 \cdot 10^{-34}\ Js$$

Considerando la REM como onda, la ***longitud de onda λ*** y la **frecuencia de oscilación *f*** están relacionadas por la velocidad de la luz en el medio, **c**.

$$\lambda f = c \qquad \nu = \frac{1}{\lambda}$$

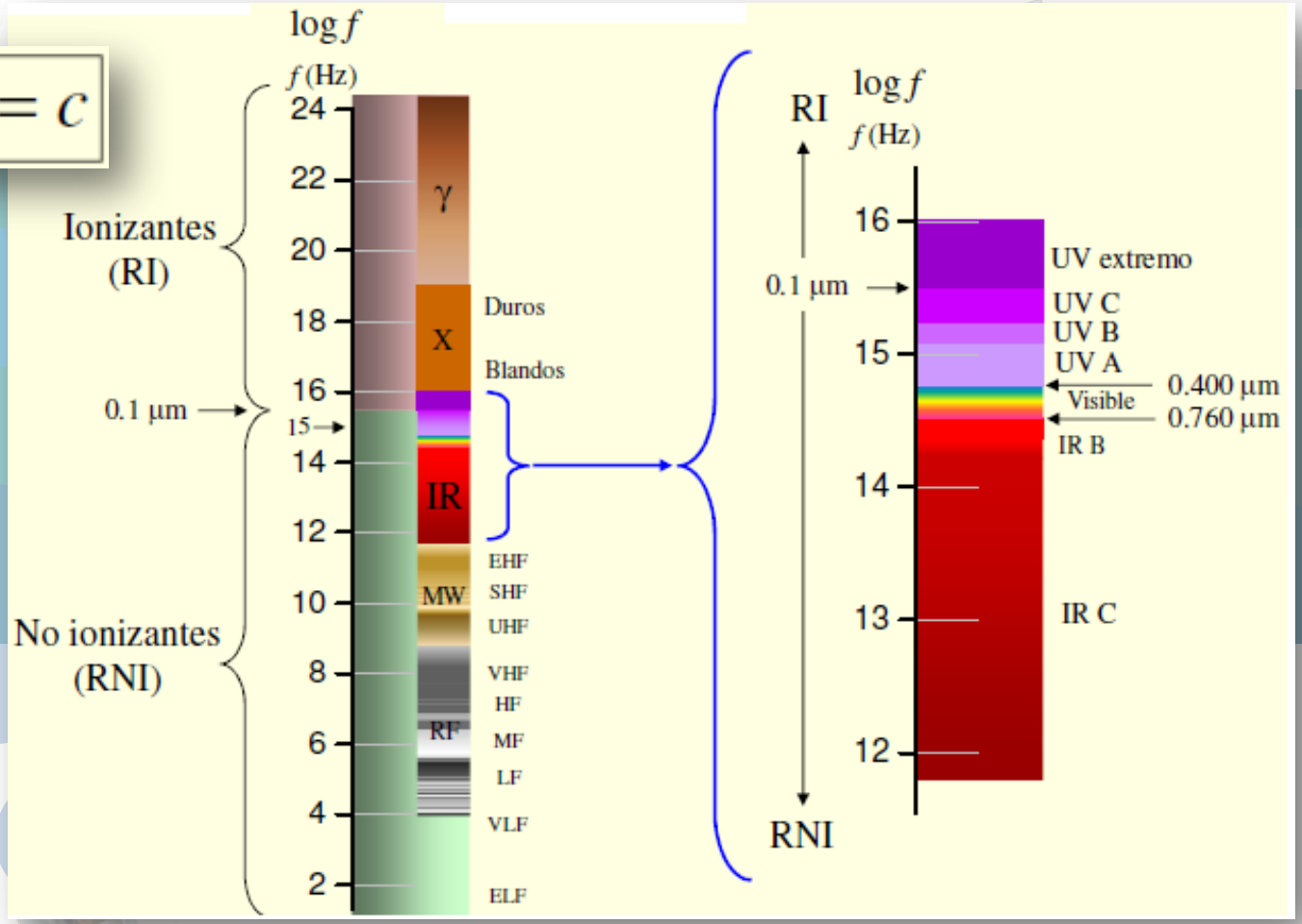
$(c = 2.998\ 10^{8}\ m/s)$



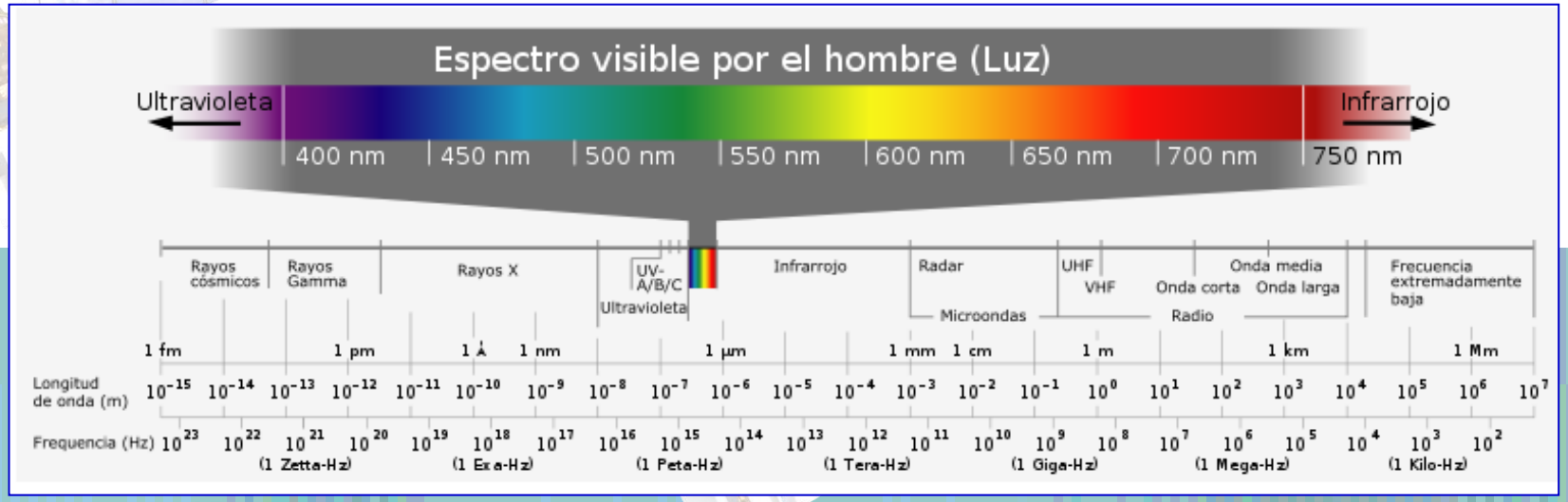
1. REPASO DE CONCEPTOS FÍSICOS (2)

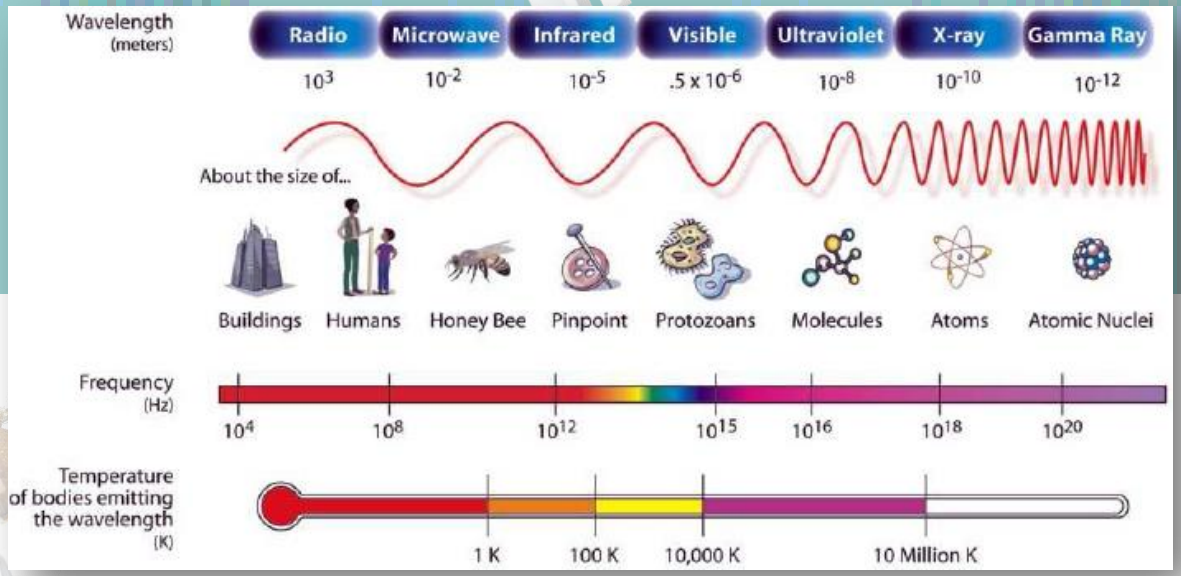
Espectro electromagnético es el conjunto diferenciado de las distintas radiaciones EM, agrupadas según su frecuencia o según su longitud de onda.

$$\lambda f = c$$



1. REPASO DE CONCEPTOS FÍSICOS (3)





ATENCIÓN: Ver Apéndice para conocer acerca de magnitudes físicas y unidades.

1. REPASO DE CONCEPTOS FÍSICOS (4)

Ley de Planck: Nos da la distribución espectral de la radiación emitida por un **cuerpo negro**, que se expresa como:

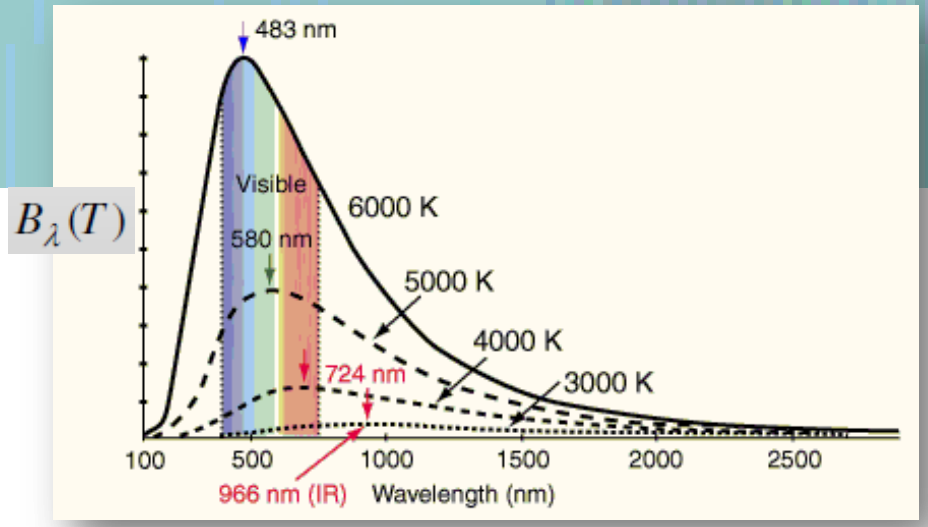
$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5\left(\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)-1\right)} = \frac{C_1}{\lambda^5\left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right)-1\right]}$$

$C_1 = 2hc^2 = 1{,}191\ 10^8\ \mathrm{Wm^{-2}\,\mu m^4\,Sr^{-1}}$; $C_2 = hc/k = 1{,}4388\ 10^4\ \mu\mathrm{m\ K}$

La función de Planck, también se puede expresar en términos de frecuencia (*f*)

$$B_f(T) = \frac{2hf^5}{c^3\left(\exp\left(\frac{hf}{kT}\right)-1\right)}$$

Radiancia de un cuerpo negro a la temperatura T



1. REPASO DE CONCEPTOS FÍSICOS (5)

Ley de Wien: El poder emisivo monocromático del cuerpo negro presenta un máximo para una determinada longitud de onda. Se deduce a partir de la ley de Planck para una determinada temperatura T:

$$\frac{dB_\lambda(T)}{d\lambda} = 0 \Longrightarrow \boxed{\lambda_{máx} T = 2{,}8975 \cdot 10^{-3}\, m \cdot K}$$

Relación entre λ_{max} y T

Ley de Stefan-Boltzmann: Establece que el poder emisivo total de cuerpo negro, sin consideración de su distribución espectral, es una función de la cuarta potencia de la temperatura del citado cuerpo. Se obtiene como **integración analítica de la ley de Planck**.

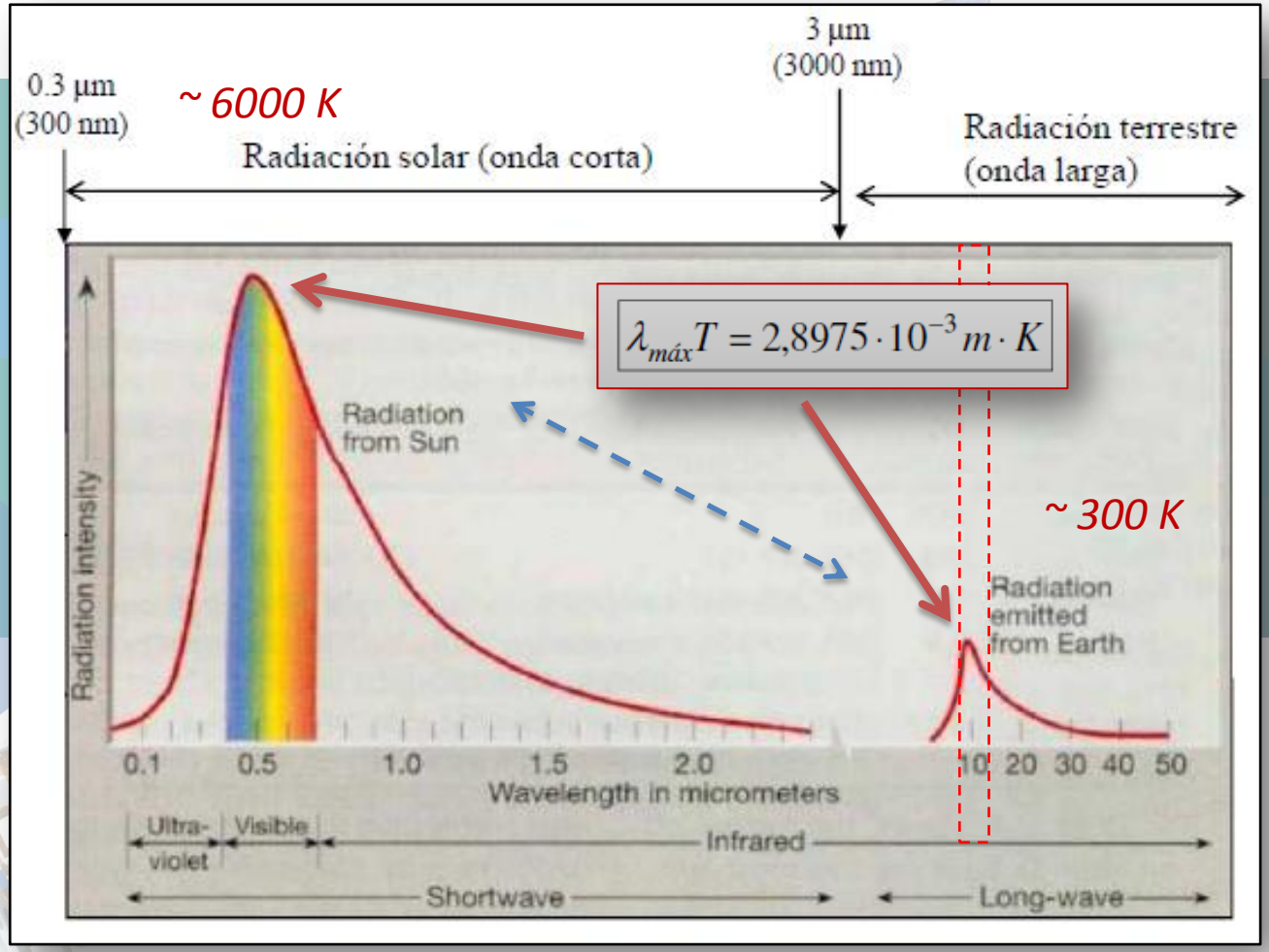
ÁREA bajo la función, nos da el TOTAL DE ENERGÍA Radiada.

$$M_B = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4$$

$\sigma = 5{,}67\ 10^{-8}\ Wm^{-2}K^{-4}$

1. REPASO DE CONCEPTOS FÍSICOS (6)

Radiación emitida desde el Sol y desde la Tierra.



1. REPASO DE CONCEPTOS FÍSICOS (7)

Emisividad

Los sistemas radiativos naturales no se comportan como cuerpos negros perfectos, de forma que la energía radiativa emitida y su distribución espectral no se ajustan a las de un cuerpo negro a su misma temperatura.

Cualquier cuerpo a una temperatura determinada le corresponde una radiancia ***L(T)***, que en función de la del cuerpo negro ***B(T)***, se puede escribir como:

$$L_\lambda(T) = \varepsilon_\lambda B_\lambda(T)$$

IMPORTANTE!!!

"Concepto de emisividad"

$\varepsilon_\lambda(T) = cte = 1$ → Cuerpo negro

$\varepsilon_\lambda(T) = cte < 1$ → Cuerpo gris

$\varepsilon_\lambda(T) = cte = 0$ → Reflector perfecto

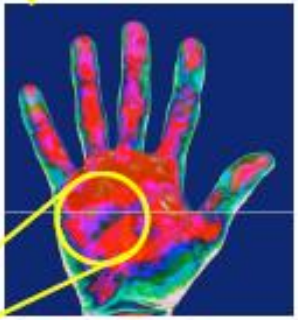
SUPERFICIES NATURALES
(ojo con variación espectral y direccional)

(*) La emisividad también presenta una dependencia espectral y direccional, admitiendo distintas definiciones según la magnitud con que se use.

1. REPASO DE CONCEPTOS FÍSICOS (8)

Ejemplo

$$L_\lambda(T) = \varepsilon_\lambda B_\lambda(T)$$



T= 36.5 °C

$\varepsilon < 1$

T= 33.2 °C

Table of emissivity values of common materials

Aluminium*	0,30
Asbestos	0,95
Asphalt	0,95
Basalt	0,70
Brass*	0,60
Brick	0,90
Carbon	0,85
Ceramic	0,95
Concrete	0,95
Copper*	0,95
Dirt	0,94
Frozen food	0,90
Hot food	0,93
Glas (plate)	0,85
Ice	0,98
Iron*	0,70
Lead*	0,60
Limestone	0,98
Oil	0,94
Paint	0,93
Paper	0,95
Plastic**	0,95
Rubber	0,95
Sand	0,90
Skin	0,98
Snow	0,90
Steel*	0,80
Textiles	0,94
Water	0,93
Wood***	0,94

1. REPASO DE CONCEPTOS FÍSICOS (9)

LEY DE KIRCHHOFF

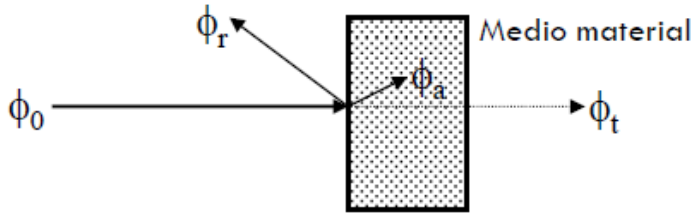
todo cuerpo en equilibrio térmico y radiativo tiene una eficiencia emisiva igual a su eficiencia absorbente, es decir:

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda \quad \Longrightarrow \quad \varepsilon_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

Interacción materia radiación

- ABSORTIVIDAD (α): relación energía absorbida-energía incidente
- TRANSMISIVIDAD (τ): relación energía transmitida-energía incidente
- REFLECTIVIDAD (ρ): relación energía reflejada-energía incidente

$$\phi_0 = \phi_r + \phi_a + \phi_t \Rightarrow \underbrace{\frac{\phi_r}{\phi_0}}_{\rho} + \underbrace{\frac{\phi_a}{\phi_0}}_{\alpha} + \underbrace{\frac{\phi_t}{\phi_0}}_{\tau} = 1$$



$$\alpha + \rho + \tau = 1 \text{ (MEDIOTRASLÚCIDO)}$$

$$\alpha + \rho = 1 \text{ (MEDIOOPACO)}$$

2. BANDAS ESPECTRALES

Desde el punto de vista de la teledetección destacan:

Espectro visible (0,4 – 0,7 µm): es la radiación electromagnética perceptible por el ojo. Coincide con la longitud de onda donde es máxima la radiación solar. Podemos localizar los distintos colores en las longitudes.

Azul: 0,4 – 0,5 µm; Verde: 0,5 – 0,6 µm; Rojo: 0,6 – 0,7 µm

Infrarrojo próximo (0,8 – 1,3 µm): región importante para diferenciar vegetación y concentraciones de humedad.

2. BANDAS ESPECTRALES (2)

Infrarrojo medio (1,3 - 8 µm): región con mezcla de procesos de reflexión de luz solar y de emisión de la superficie terrestre.

Infrarrojo térmico (8 - 14 µm): región del espectro en la que emiten energía todos los cuerpos de la superficie terrestre.

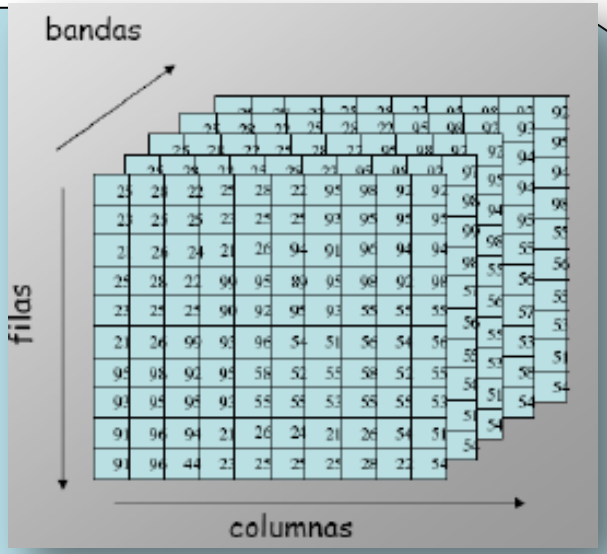
Microondas (desde 1 mm): tiene la propiedad de ser transparente a la cubierta nubosa, pero también de llevar asociada muy poca energía. Hoy se esta logrando mucho en este sector del espectro.

3. REFLECTIVIDAD TOA

IMAGEN DE SATÉLITE

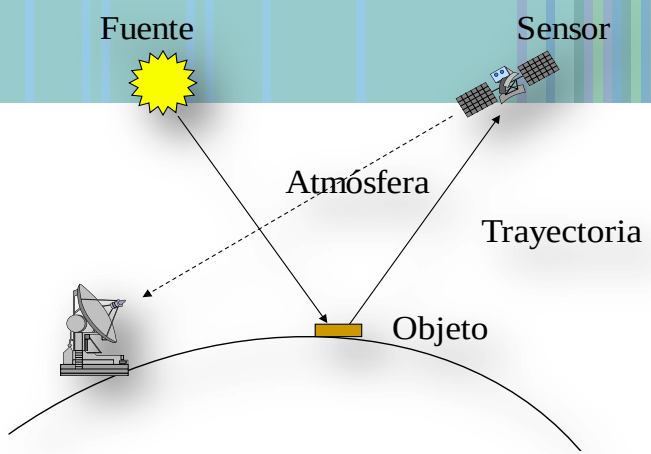
Matriz o arreglo de datos -> M = M (i, j, λ)

i = filas
j = columnas
λ = bandas



Datos almacenados -> Número o Nivel Digital -> $ND_{ij\lambda}$ o ***ND_λ***
proporcional a Radiancia recibida por el sensor de satélite

Para reflectividad….



3. REFLECTIVIDAD TOA (2)

Conversión a Radiancia

Los ND_λ almacenados se convierten a Radiancia ($L_{\lambda sat}$).
Para los sensores de la misión Landsat la relación es del tipo lineal.

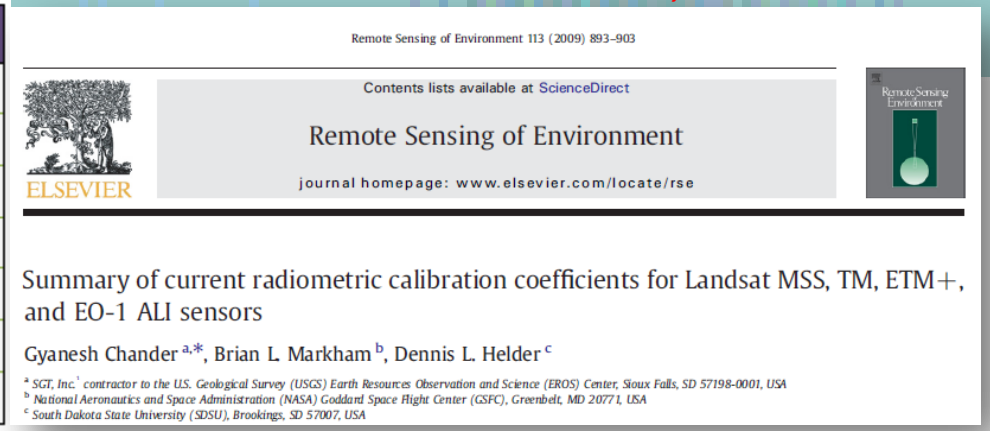
$$L_{\lambda sat} = G_\lambda \, ND_\lambda + B_\lambda$$

(W m^{-2} µm^{-1} sr^{-1})

Ejemplo. *parámetros G_λ y B_λ para calcular $L_{\lambda sat}$*

Sensor	Banda	G_λ	B_λ
TM	1	0.762824 (0.668706)	-1.5200
	2	1.442510 (1.317020)	-2.8400
	3	1.039880	-1.1700
	4	0.872588	-1.5100
	5	0.119882	-0.3700
	6	0.055158	1.2378
	7	0.065294	-0.1500

ver Chander et al., 2009


Remote Sensing of Environment 113 (2009) 893–903

Contents lists available at ScienceDirect

Remote Sensing of Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rse

ELSEVIER

Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors

Gyanesh Chander [a,*], Brian L. Markham [b], Dennis L. Helder [c]

[a] SGT, Inc.[1] contractor to the U.S. Geological Survey (USGS) Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, SD 57198-0001, USA
[b] National Aeronautics and Space Administration (NASA) Goddard Space Flight Center (GSFC), Greenbelt, MD 20771, USA
[c] South Dakota State University (SDSU), Brookings, SD 57007, USA

3. REFLECTIVIDAD TOA (3)

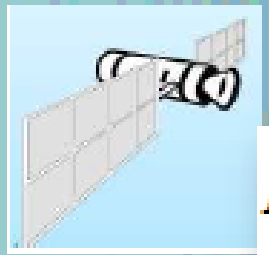
Reflectividad TOA: (SIN CORRECCIÓN)

Si considero ausencia de atmósfera….

la señal medida por el sensor será una función del nivel de energía de la radiación incidente sobre el pixel y de las propiedades reflectivas de éste.

$$E_i = \frac{\int_{\lambda_{1i}}^{\lambda_{2i}} f_i(\lambda) E_\lambda d\lambda}{\int_{\lambda_{1i}}^{\lambda_{2i}} f_i(\lambda)\, d\lambda}$$

$$E_{i0}\, d^{-2} = E_i$$



Sensor con un canal i de anchura $(\lambda_{1i} - \lambda_{2i})$

$$L_i = \frac{1}{\pi} \rho (E_i \cos\theta_z)$$

Sin atmósfera

$E_i \cos \theta_s$

$$\rho_{\lambda TOA} = \frac{\pi\, L_{\lambda sat}}{E_{\lambda 0}\, d^{-2} \cos\theta_z}$$

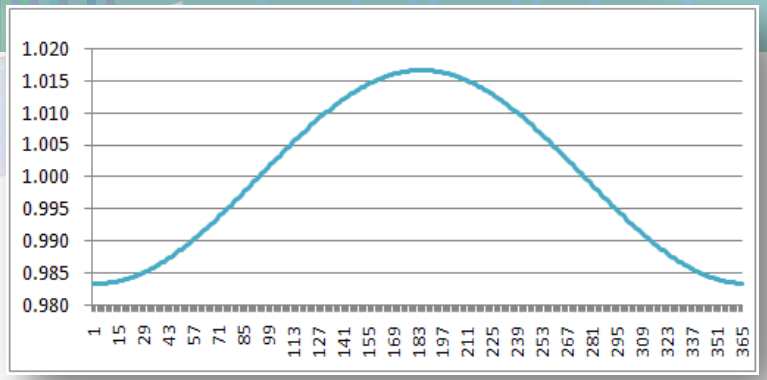
superficie ρ

3. REFLECTIVIDAD TOA (6)

Irradiancia solar espectral exoatmosférica y corrección por distancia Tierra-Sol

Banda	$E_{\lambda 0}$ (TM)	$E_{\lambda 0}$ (ETM+)
1	1957.00	1969.00
2	1826.00	1840.00
3	1554.00	1551.00
4	1036.00	1044.00
5	215.00	225.70
7	80.67	82.07
8	---	1368.00

$$d = 1 - 0.01673 \cos\left(2\pi \frac{\text{día Juliano} - 3}{365}\right)$$



3. REFLECTIVIDAD TOA (5)

Reflectancia TOA (ρ), en resumen…

Cuando la energía electromagnética $E_I(\lambda)$ incide sobre los cuerpos situados en la superficie terrestre ésta puede descomponerse en tres términos debido a la reflexión, absorción y transmisión de la superficie.

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

$$\rho = \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)}$$

Si NO considero los efectos introducidos por la atmosfera y además considera reflexión Lambertiana:

$$E_I(\lambda) = E_{\lambda 0}\, d^{-2} \cos\theta_z$$

$$E_R(\lambda) = \pi\, L_{\lambda sat}$$

Sin corrección

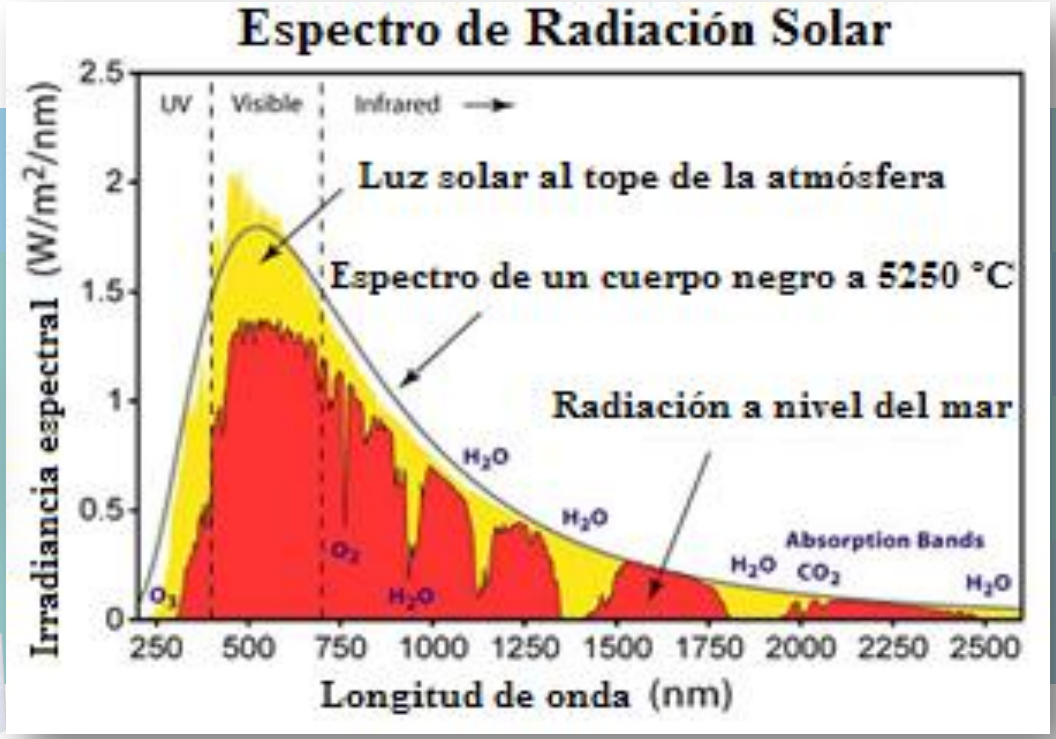
$$\rho_{\lambda TOA} = \frac{\pi\, L_{\lambda sat}}{E_{\lambda 0}\, d^{-2} \cos\theta_z}$$

4. CORRECCIÓN EN EL ESPECTRO SOLAR

En realidad la Reflectancia TOA (ρ) no expresa lo que pasa en la superficie, debido a la interacción de los Fotones con los componentes de la atmósfera.

Necesitamos conocer:

$$\rho_{\lambda sup} = \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)}$$



Es por eso que debemos introducir un modelo de corrección atmosférica para conocer la Energía que ilumina la superficie y la fracción reflejada por ésta.

4. CORRECCIÓN EN EL ESPECTRO SOLAR (2)

Modelo Simple de Transferencia Radiativa:

Reflectancia de superficie ($\rho_{\lambda sup}$)

$$\rho_{\lambda sup} = \frac{\pi(L_{\lambda sat} - L_{\lambda p})}{T_{\lambda v}(E_{\lambda 0}\, d^{-2} \cos\theta_z \;\; T_{\lambda z} + E_{\lambda down})}$$

d es la distancia Tierra-Sol (UA)

$E_{\lambda 0}$ es la irradiancia solar espectral exoatmosférica (W m^{-2} µm^{-1}).

Θ_z es el ángulo cenital solar.

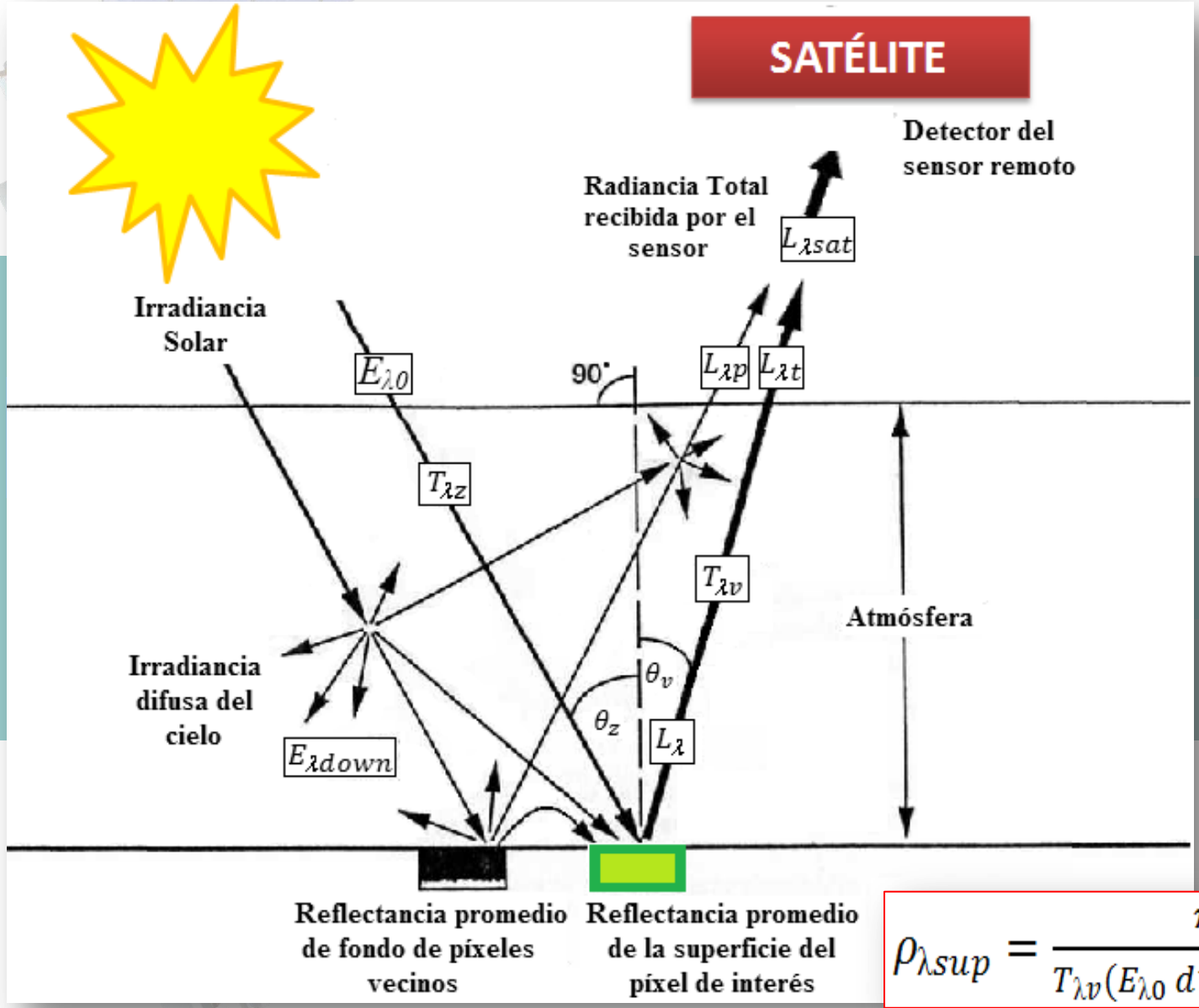
$L_{\lambda p}$ es el path radiance (W m^{-2} µm^{-1} sr^{-1}).

$T_{\lambda v}$ y $T_{\lambda z}$ son las transmisividades atmosféricas.

$E_{\lambda down}$ es la irradiancia difusa del cielo hacia abajo(W m^{-2} µm^{-1} sr^{-1}).

A continuación se presentan los procesos realizados para estimar los parámetros considerados en éste modelo.

4. CORRECCIÓN EN EL ESPECTRO SOLAR (3)



$$\rho_{\lambda sup} = \frac{\pi(L_{\lambda sat} - L_{\lambda p})}{T_{\lambda v}(E_{\lambda 0}\, d^{-2} \cos\theta_z\ T_{\lambda z} + E_{\lambda down})}$$

4. CORRECCIÓN EN EL ESPECTRO SOLAR (9)

Método DOS (Dark Object Subtraction)

- ***Estimación de los $L_{\lambda p}$ (path radiance)***

$$L_{\lambda p} = ND_{\lambda dark} G_{\lambda} + B_{\lambda} - 0.01 \left(\frac{E_{\lambda 0} cos\theta_z \, T_{\lambda z} T_{\lambda v}}{d^2 \pi} \right)$$

(Schroeder et al., 2006; Chavez, 1988 & 1996; Moran et al., 1992)

- Atmosfera Rayleigh sin aerosoles.
- $\rho_{\lambda sup}$ del 1% para el objeto oscuro.

- ***$E_{\lambda down}$ se considera igual a cero*** (Song et al., 2001; Barnaby & Pellikka, 2003).

4. CORRECCIÓN EN EL ESPECTRO SOLAR (4)

➢ *Cálculo de Transmisividades*

$$T_{\lambda v} = e^{-\tau_{\lambda r}/\cos\theta_v} \qquad T_{\lambda z} = e^{-\tau_{\lambda r}/\cos\theta_z}$$

$\tau_{\lambda r}$ es el espesor óptico para la dispersión Rayleigh (Kaufman, 1989). ***(λ en μm)***

$$\tau_{\lambda r} = 0.008569\,\lambda^{-4}(1 + 0.0113\,\lambda^{-2} + 0.00013\,\lambda^{-4})$$

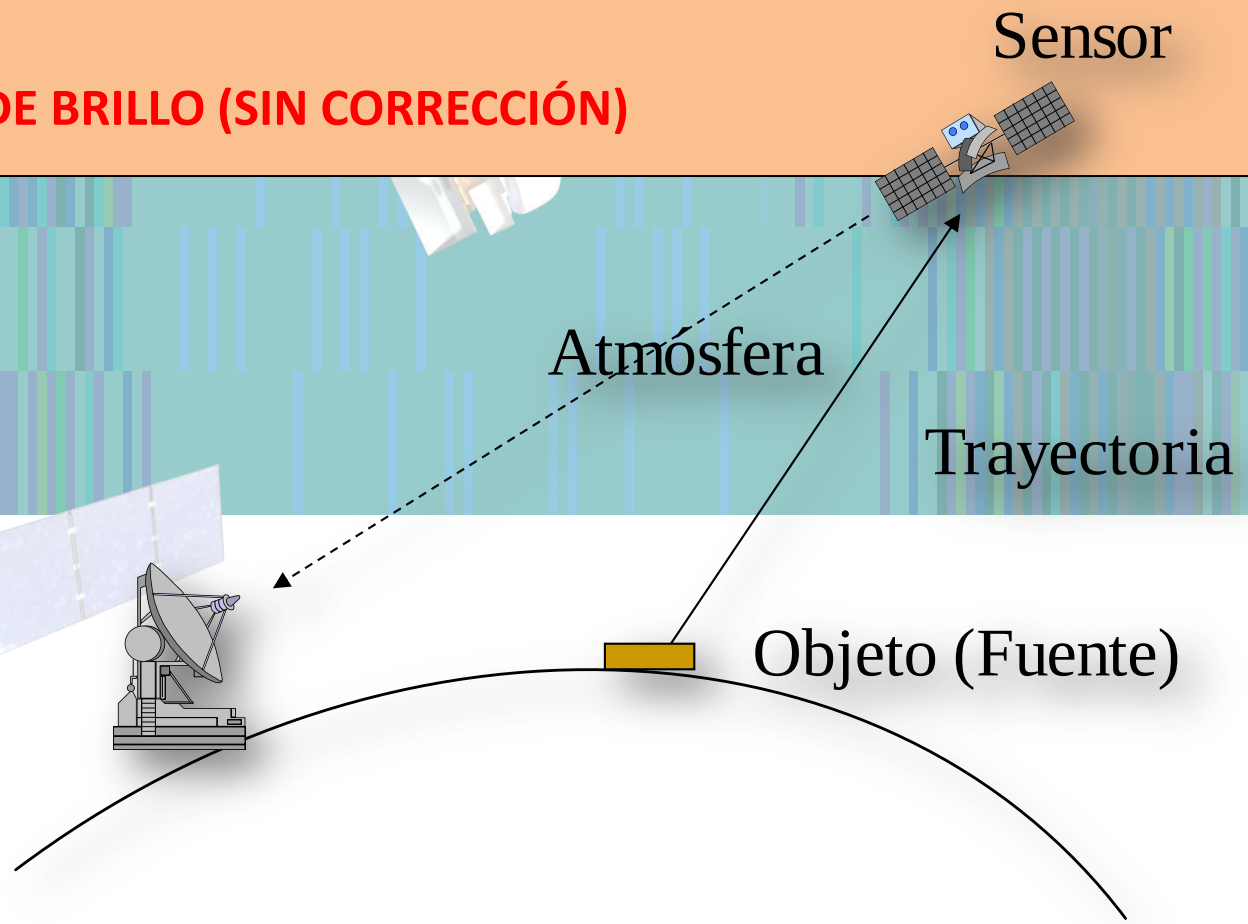
Tabla. $\tau_{\lambda r}$ estimados para las bandas de los sensores TM y ETM+.

Sensor	*Banda*	*λ (μm)*	$\tau_{\lambda r}$
TM	1	0.4850	0.1627
	2	0.5600	0.0904
	3	0.6600	0.0463
	4	0.8300	0.0183
	5	1.6500	0.0012
	7	2.2000	0.0004
ETM+	1	0.4787	0.1716
	2	0.5610	0.0897
	3	0.6614	0.0460
	4	0.8346	0.0180
	5	1.6500	0.0012
	7	2.2080	0.0004

5. ESPECTRO TÉRMICO

La determinación de la **temperatura de la superficie** terrestre se realiza a partir de las medidas de la radiación terrestre que le llegan al satélite después de atravesar la atmósfera.

TEMPERATURA DE BRILLO (SIN CORRECCIÓN)



TEMPERATURA DE BRILLO

La determinación de la **temperatura de la superficie** terrestre se realiza a partir de las medidas de la radiación terrestre que le llegan al satélite después de atravesar la atmósfera.

SIN CORRECCIÓN

ND

$$L_{sat} = G_{\lambda}.ND + B_{\lambda}$$

L_{sat}

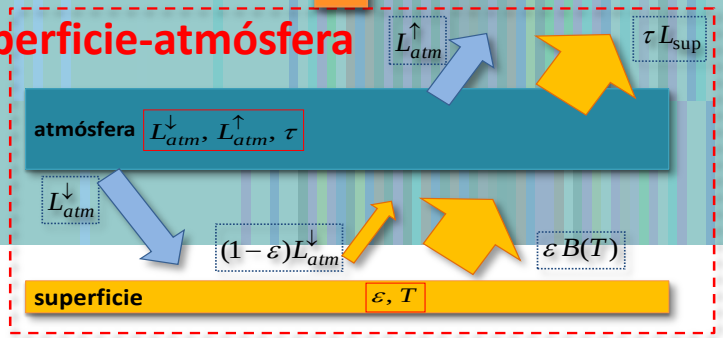
$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{sat}} + 1\right)}$$

Inversa de la Ley de Planck → **Tb (K)**

SATÉLITE

$$L_{sat} = \tau L_{\sup} + L_{atm}^{\uparrow} = L_{TOA}$$

Sistema superficie-atmósfera



Tb nos da información preliminar.

Tb ≠ Tsup -> CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA

6. CORRECCIÓN EN EL TÉRMICO

En el espectro térmico domina la absorción y la emisión.

a) EFECTO DE LA EMISIVIDAD: **SUPERFICIE**

Modifica la emisión térmica de la superficie

Reflexión de la emisión atmosférica

b) EFECTO ATMOSFÉRICO: **ATMÓSFERA**

Medio absorbente y emisor (H_2O, CO_2, O_3, ...)

Medio no dispersivo (excepto aerosoles)

Ecuación de Transferencia Radiativa

$$L_{sat} = [\varepsilon B(T) + (1-\varepsilon) L_{atm}^{\downarrow}]\tau + L_{atm}^{\uparrow}$$

T

6.1 ECUACIÓN DE TRANSFERENCIA RADIATIVA

Ecuación de Transferencia Radiativa

$$L_{sat} = [\varepsilon B(T) + (1-\varepsilon) L_{atm}^{\downarrow}]\,\tau + L_{atm}^{\uparrow}$$

T

SATÉLITE

$$L_{sat} = \tau L_{\sup} + L_{atm}^{\uparrow}$$

$L_{atm}^{\uparrow}$

$\tau L_{\sup}$

atmósfera $L_{atm}^{\downarrow},\ L_{atm}^{\uparrow},\ \tau$

$$L_{\sup} = \varepsilon B(T) + (1-\varepsilon) L_{atm}^{\downarrow}$$

$L_{atm}^{\downarrow}$

$(1-\varepsilon) L_{atm}^{\downarrow}$

$\varepsilon B(T)$

superficie $\varepsilon,\ T$

6.2. MÉTODO MONOCANAL

Resolución de la **ecuación de transferencia radiativa** a partir del conocimiento de los **perfiles verticales de la atmósfera (p, T, concentración de gases), que** se usan como datos de entrada de un **modelo de cálculo de transmisividad y radiancia de la atmósfera**

$$L_{sat} = [\varepsilon B(T) + (1-\varepsilon) L_{atm}^{\downarrow}]\,\tau + L_{atm}^{\uparrow}$$

Es decir….

(1) $$L_{sat} = G_{\lambda}.ND + B_{\lambda}$$

(2) $$B(T) = \frac{\left[\frac{(L_{sat} - L_{atm}^{\uparrow})}{\tau} - (1-\varepsilon) L_{atm}^{\downarrow}\right]}{\varepsilon}$$

(3) $$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{B(T)} + 1\right)}$$

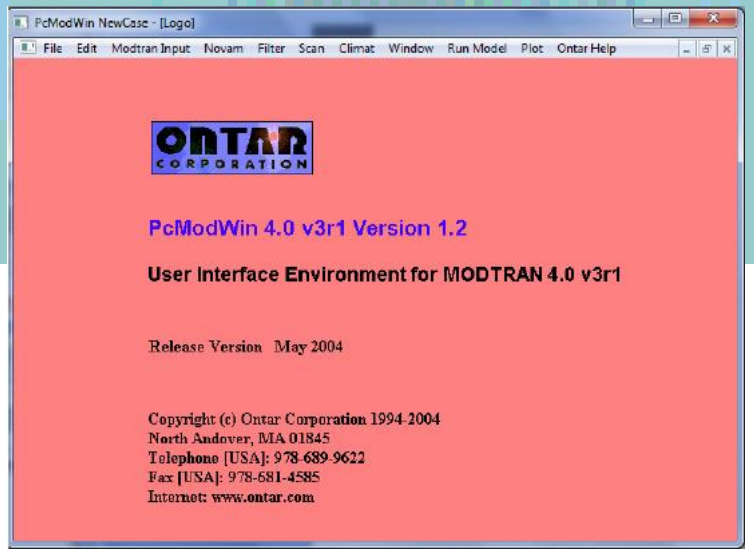
6.3. MÉTODO MONOCANAL (2)

Modelos de transferencia radiativa del *Air Force Geophysical Laboratory AFGL*). Cálculo de la transmisividad y radiancia atmosféricas en todo el espectro.

$$L_{atm}^{\downarrow},\ L_{atm}^{\uparrow},\ \tau$$

HITRAN: Alta resolución espectral. Atlas de datos de absorción moleculares
LOWTRAN 1-7 (1972-1989): Baja resolución espectral (20 cm^{-1})
MODTRAN 1-4 (5) (1989-actualidad): Moderada resolución espectral 1-0,1 cm^{-1})

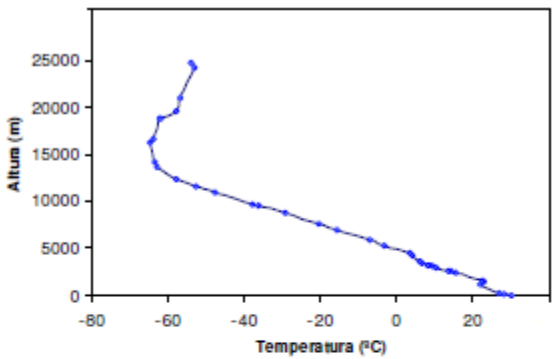
Perfiles atmosféricos estándar (p, T, H_2O, CO_2, O_3, ...) o datos de radiosondeos introducidos por el usuario. Modelos de aerosoles.

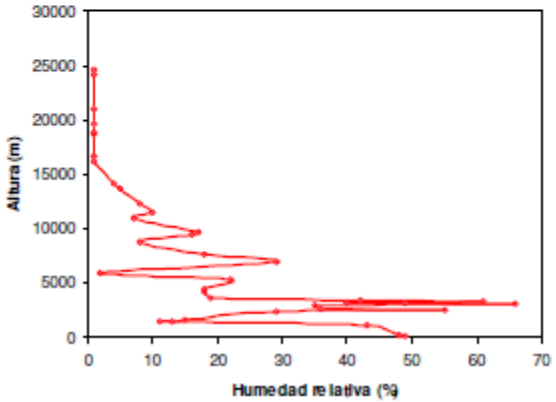


Perfiles atmosféricos:
http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html

6.4. MÉTODO MONOCANAL (3)

RADIOSONDEO (ejemplo)





87576 SAEZ Ezeiza Aero Observations at 12Z 01 Nov 2012

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1013.0	20	19.4	17.1	87	12.25	340	6	291.5	326.3	293.6
1000.0	131	18.4	14.9	80	10.76	305	6	291.6	322.2	293.4
969.0	402	18.6	10.6	60	8.34	243	9	294.4	318.7	295.9
955.0	526	17.7	10.9	65	8.67	215	10	294.7	319.9	296.2
925.0	799	15.6	11.7	78	9.42	195	13	295.2	322.6	296.9
919.0	854	15.4	11.8	79	9.54	188	14	295.6	323.4	297.3
903.0	1003	16.4	-2.6	27	3.51	170	16	298.1	308.9	298.8
854.0	1475	13.4	-8.6	21	2.35	160	14	299.8	307.2	300.2
853.0	148									
850.0	151									
806.0	195									
779.0	223									
756.0	248									
730.0	276									
723.0	284									
700.0	311									
672.0	343									
667.0	349									
656.0	363									

Station information and sounding indices

```
                                  Station identifier: SAEZ
                                      Station number: 87576
                                    Observation time: 121101/1200
                                    Station latitude: -34.81
                                   Station longitude: -58.53
                                   Station elevation: 20.0
                                     Showalter index: 8.97
                                        Lifted index: 0.75
        LIFT computed using virtual temperature: 0.57
                                         SWEAT index: 67.02
                                             K index: 7.30
                                     Cross totals index: 6.30
                                 Vertical totals index: 28.30
                                   Totals totals index: 34.60
          Convective Available Potential Energy: 0.00
                 CAPE using virtual temperature: 0.00
                                 Convective Inhibition: 0.00
                 CINS using virtual temperature: 0.00
                                Bulk Richardson Number: 0.00
              Bulk Richardson Number using CAPV: 0.00
      Temp [K] of the Lifted Condensation Level: 284.93
    Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level: 907.05
         Mean mixed layer potential temperature: 293.00
                   Mean mixed layer mixing ratio: 9.75
                   1000 hPa to 500 hPa thickness: 5619.00
Precipitable water [mm] for entire sounding: 20.04
```

6.4. MÉTODO MONOCANAL (4)

PARA LANDSAT PODEMOS UTILIZAR MODTRAN ONLINE!!!

http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/

Year: Month: Day:
GMT Hour: Minute:

Latitude: Longitude:
+ is North, - is South *+ is East, - is West*

- Use atmospheric profile for closest integer lat/long *help*
- Use interpolated atmospheric profile for given lat/long *help*

- Use mid-latitude summer standard atmosphere for upper atmospheric profile *help*
- Use mid-latitude winter standard atmosphere for upper atmospheric profile *help*

- Use Landsat-7 Band 6 spectral response curve
- Use Landsat-5 Band 6 spectral response curve
- Output only atmospheric profile, do not calculate effective radiances

Optional: Surface Conditions
(If you do not enter surface conditions, model predicted surface conditions will be used.
If you do enter surface conditions, all four conditions must be entered.)

Altitude (km): Pressure (mb):
Temperature (C): Relative Humidity (%):

Results will be sent to the following address:
Email:

Calculate
Clear Fields

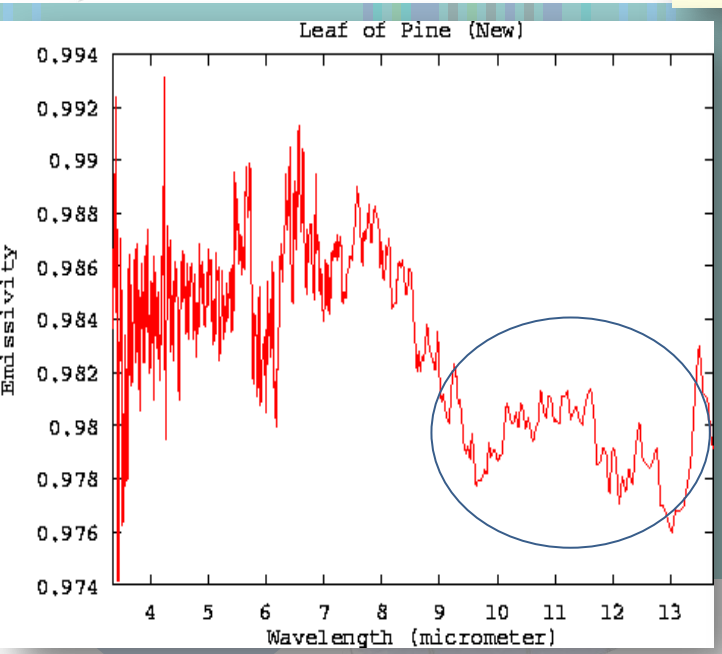
Barsi *et al.* (2003) Y (2005)

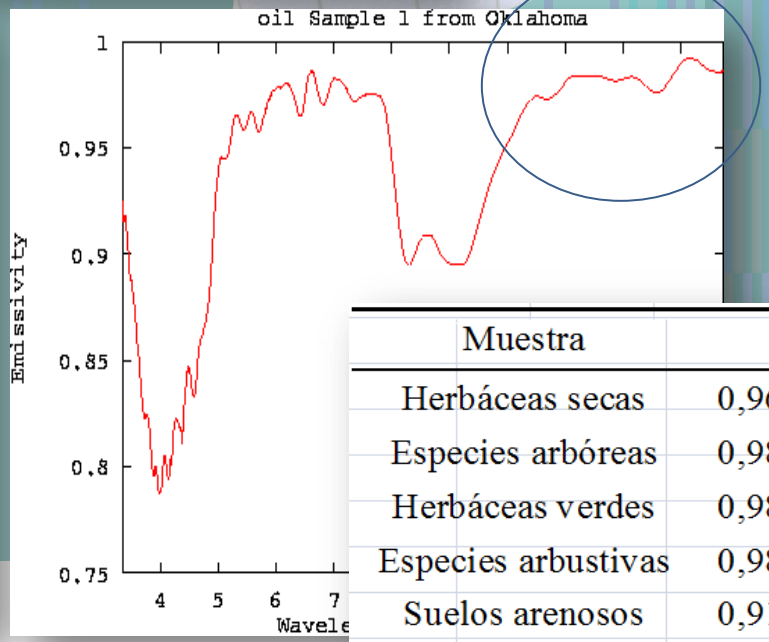
$$L_{atm}^{\downarrow},\ L_{atm}^{\uparrow},\ \tau$$

6.5. EMISIVIDAD DE LA SUPERFICIE

EMISIVIDAD DE LA SUPERFICIE TERRESTRE (magnitud espectral)
Es poco utilizada por sí sola, pero sí como input para algoritmos de temperatura.

$$L_\lambda(T) = \varepsilon_\lambda B_\lambda(T)$$





Muestra	$\varepsilon_{8\text{-}14}$	$\varepsilon_{10\text{-}12.5}$
Herbáceas secas	0,967±0,014	0,959±0,022
Especies arbóreas	0,984±0,006	0,985±0,009
Herbáceas verdes	0,985±0,007	0,986±0,011
Especies arbustivas	0,987±0,005	0,990±0,008
Suelos arenosos	0,915±0,014	0,969±0,006
Suelos limosos	0,948±0,005	0,973±0,006
Suelos arcillosos	0,955±0,006	0,973±0,006

ASTER library: http://speclib.jpl.nasa.gov/
MODIS library: http://www.icess.ucsb.edu/modis/EMIS/html/em.html

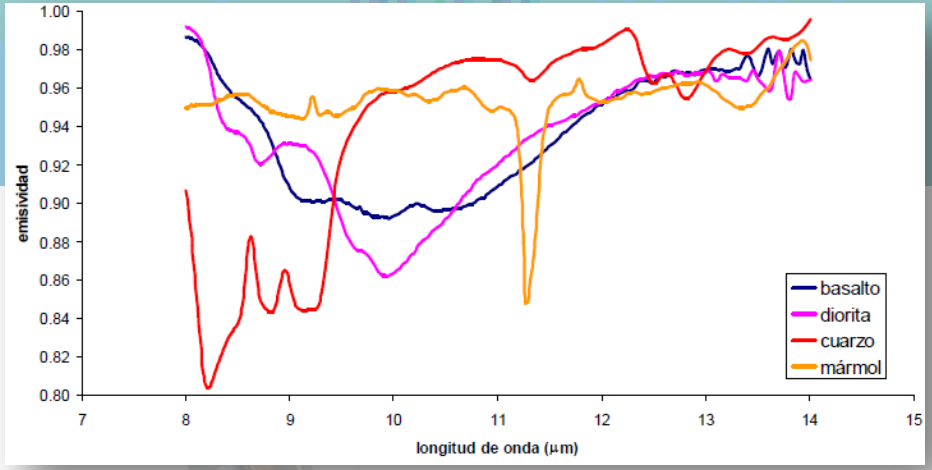
6.5. EMISIVIDAD DE LA SUPERFICIE (2)

Ejemplo, LIBRERÍA ASTER:

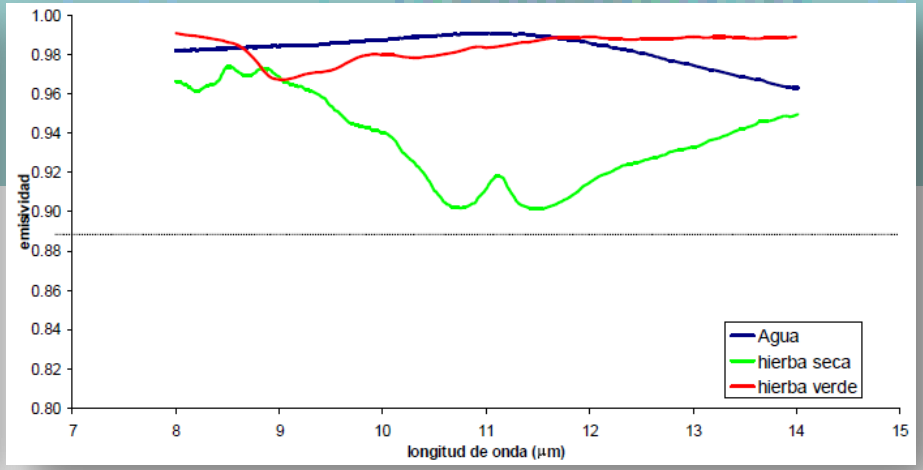
La librería espectral de ASTER está formada por unos 2000 espectros de materiales naturales y artificiales. Esta librería espectral recopila los datos de tres librerías espectrales correspondientes a los siguientes centros: Johns Hopkins University (JHU), Jet Propulsion Laboratory (JPL) y United States Geological Survey (USGS-Reston).

Estos datos resultan de gran utilidad a la hora de realizar simulaciones y a la hora de analizar los espectros tanto de emisividad como de reflectividad de las superficies naturales.

Emisividad en Rocas



Emisividad en agua y vegetación

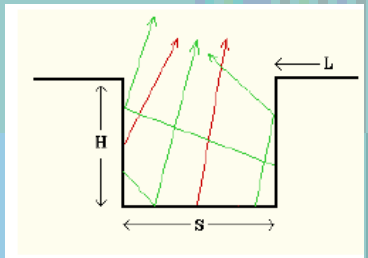


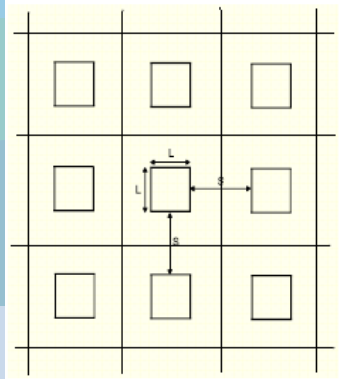
6.5. EMISIVIDAD DE LA SUPERFICIE (3)

DETERMINACIÓN Y CARTOGRAFIADO DE LA EMISIVIDAD TERRESTRE

Método de la Cobertura Vegetal (MCV): uso de modelo físico junto con datos del dominio óptico ⇒ **Suficiente precisión y aplicación operativa**.

Ejemplo de cultivo (naranjos):





Emisividad efectiva $\varepsilon = \varepsilon_0 + d\varepsilon$

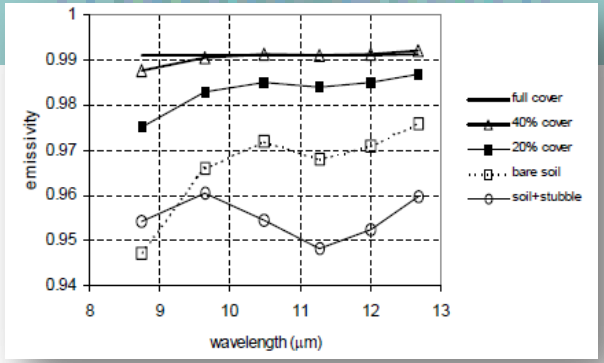
$$\varepsilon_0 = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1-P_v)$$

$$d\varepsilon = (1-\varepsilon_s)\,\varepsilon_v F\,(1-P_v) + [(1-\varepsilon_v)\,\varepsilon_s G + (1-\varepsilon_v)\,\varepsilon_v F']\,P_1$$

"efecto de cavidad"

Se requiere:
- Valores de emisividad de **suelo y vegetación**
- Conocimiento acerca de la **geometría de la superficie**
- **Cálculo de P_v** (con datos del dominio óptico; índices de vegetación)

E. Valor y V. Caselles, 1996: Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African and South American Areas. Remote Sensing of Environment, 57: 167-184.



Aproximación práctica:

$$\varepsilon_{sup} = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s [1 - P_v]$$

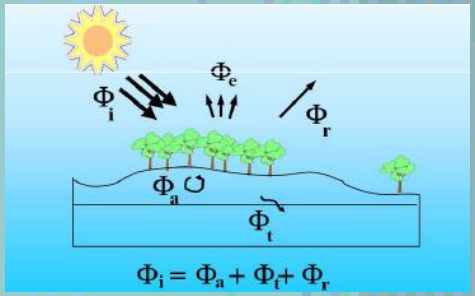
7. APÉNDICE

MAGNITUDES RADIOMÉTRICAS

- **Energía radiante (Q)**: energía transmitida en forma de REM (**joule, J**)

- **Flujo radiante (ϕ)**: energía radiante transmitida por unidad de tiempo. No aporta ninguna información de la distribución de la radiación, ni de la dirección sobre una superficie.

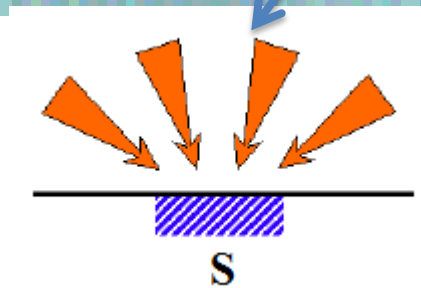
$$\phi = \frac{\partial Q}{\partial t} \ (\mathrm{J/s, Watt, W})$$



- **Densidad de flujo radiante**: flujo radiante por unidad de superficie; al flujo emitido se le llama **EMITANCIA o EXCITANCIA (M)**, y al incidente **IRRADIANCIA (E)**

$$F = \frac{\partial \phi}{\partial S} = M = E \ (\mathrm{W/m^2})$$

cuando se emite por la fuente

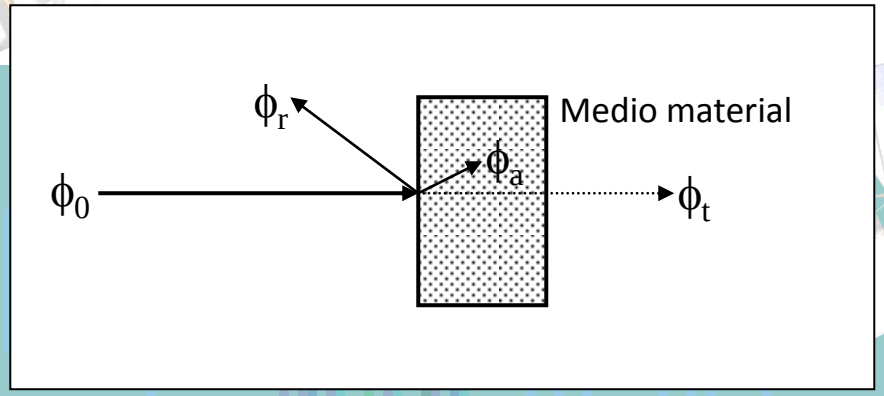


la radiación se recibe sobre la superficie

7. APÉNDICE (2)

MEDIDA RADIOMÉTRICA

INTERACCIÓN MATERIA-RADIACIÓN



$$\phi_0 = \phi_r + \phi_a + \phi_t \Rightarrow \underbrace{\frac{\phi_r}{\phi_0}}_{\rho} + \underbrace{\frac{\phi_a}{\phi_0}}_{\alpha} + \underbrace{\frac{\phi_t}{\phi_0}}_{\tau} = 1$$

- **ABSORTIVIDAD (a)**: relación energía absorbida-energía incidente
- **TRANSMISIVIDAD (t)**: relación energía transmitida-energía incidente
- **REFLECTIVIDAD (r)**: relación energía reflejada-energía incidente

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \text{ (MEDIOTRASLÚCIDO)}$$

$$\alpha + \rho = 1 \text{ (MEDIOOPACO)}$$

7. APÉNDICE (3)

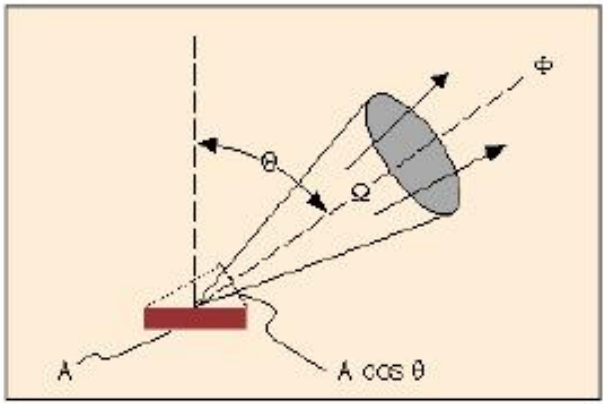
ÁNGULO SÓLIDO

El concepto de ángulo sólido de un cono es fundamental para dos magnitudes cuantitativas del flujo radiante.

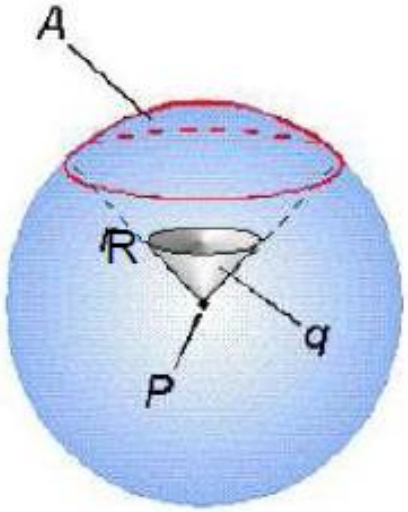
El ángulo cónico subtendido por una parte de una superficie esférica de área A, **es igual al área A dividida por el cuadrado del radio de la esfera.**

La unidad de ángulo cónico o ángulo sólido es el *estereorradián (sr).* Es adimensional.

Como el área de una esfera de radio unidad es 4π**, hay 4π estereorradianes de** ángulo sólido en una esfera.



$$\Omega = \frac{A}{R^2}$$



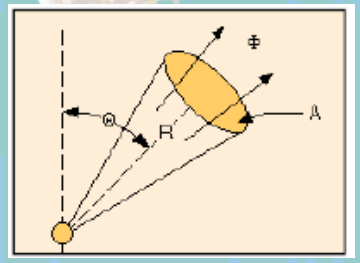
7. APÉNDICE (4)

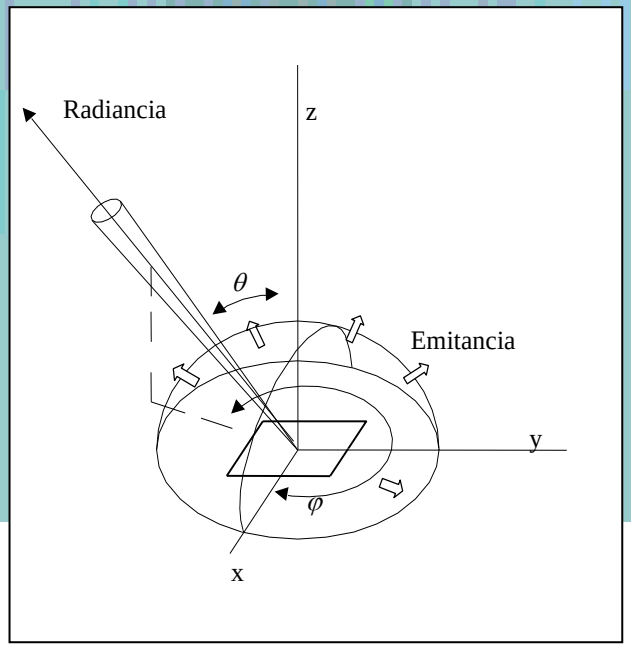
INTENSIDAD-RADIANCIA

Dado el carácter direccional de los procesos radiativos, se introducen nuevas magnitudes:

- **Intensidad radiante (I)**: flujo emitido por unidad de ángulo sólido (FUENTES PUNTUALES)

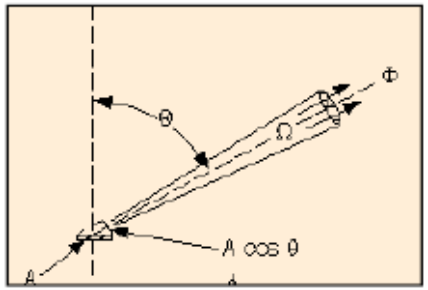
$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} = \frac{d^2 Q}{dt d\Omega} \quad \text{(W/sr)}$$





- **Radiancia (L)**: flujo radiativo procedente de una superficie elemental, dA, en una dirección dada, por unidad de **ángulo sólido** y por unidad de superficie normalmente situada a la dirección de propagación (FUENTES EXTENSAS)

$$L = \frac{\partial^2 \phi}{\partial\Omega\, \partial A \cos\theta} \quad \text{(W/m}^2\text{ sr)}$$



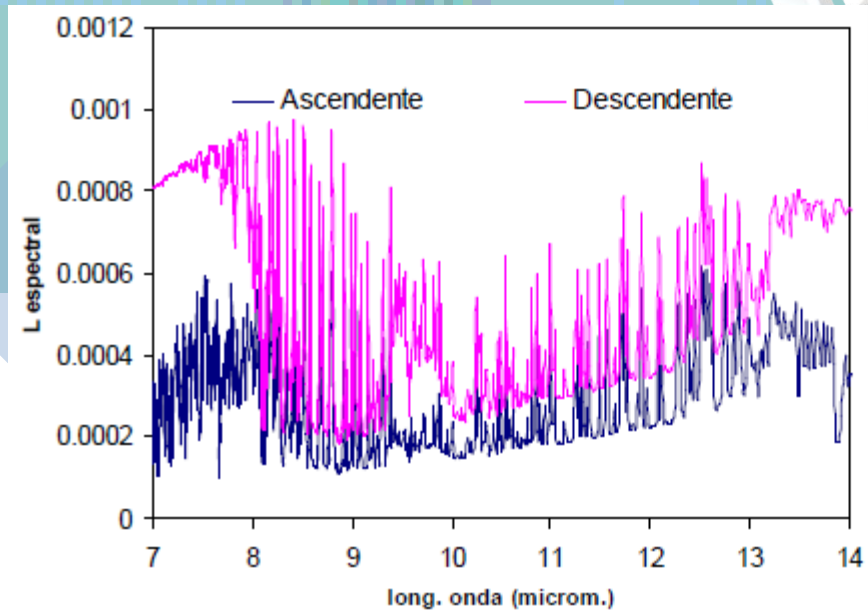
* El Sol si es una fuente puntual, pero el cielo no

7. APÉNDICE (5)

INTENSIDAD-RADIANCIA (2)

Todas las anteriores magnitudes dependen, normalmente, de la longitud de onda, λ, por lo que deben entenderse como **cantidades radiométricas espectrales.** Así por ejemplo, en el caso particular de la radiancia, que es la que mejor caracteriza el campo de radiación, hablaríamos de radiancia espectral, L_λ, con unidades ($W/m^2Sr\ \mu m$).

$$dL = L_\lambda d_\lambda$$

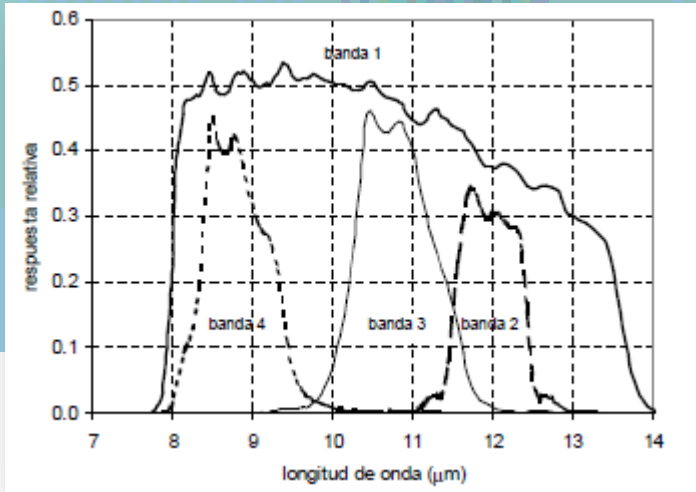


Ejemplo de un espectro de radiancia emitida por la atmósfera, bajo unas condiciones concretas.

7. APÉNDICE (6)

INTENSIDAD-RADIANCIA (3)

Los instrumentos de medida dan un valor integrado en un cierto intervalo de longitudes de onda, que constituyen una banda (i). Además, la respuesta del sensor no es la misma para todas las λs, sino que viene determinada por los valores relativos del filtro, fi(λ)



$$L_i = \frac{\int_{\lambda_{1i}}^{\lambda_{2i}} f_i(\lambda) L_\lambda d\lambda}{\int_{\lambda_{1i}}^{\lambda_{2i}} f_i(\lambda)\, d\lambda}$$

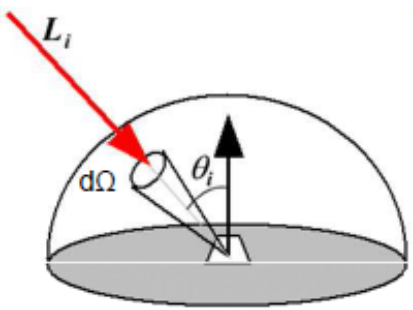
$f_i(\lambda)$: función de respuesta espectral del canal i

→ L_1, L_2, L_3, L_4

7. APÉNDICE (7)

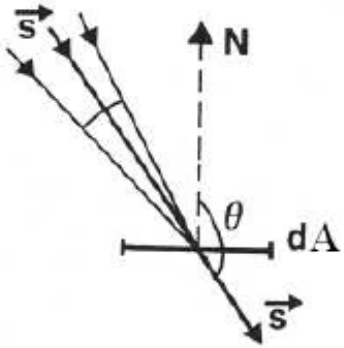
INTENSIDAD-RADIANCIA (4)

Consideremos un haz de radiación caracterizado por la radiancia L cruzando una superficie dA:



$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega d\Sigma} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega dA\cos\theta} = \frac{dF}{d\Omega\cos\theta}$$

$$F = \iint_{\Omega} L(\theta)\cos\theta d\Omega$$



APROXIMACIÓN LAMBERTIANA:

Cuando L es isotrópico, la ecuación anterior integrada sobre la mitad del espacio queda:

$$L(\theta) = L(0) = L \qquad F = L\iint_{\Omega} \cos\theta d\Omega = \pi L$$

7. APÉNDICE (8)

Radiometric Quantities

Quantity	Expression	Unit
Radiant Energy	Q	Joule(J)
Radiant Density	W	Jm^{-3}
Radiant Flux	Φ	Watt (W)
Radiant exitance (out)	M	Wm^{-2}
Irradiance (in)	E	Wm^{-2}
Radiant intensity	I	Wsr^{-1}
Radiance	***L***	$Wm^{-2}sr^{-1}$
Spectral radiant exitance (out)	$M\lambda$	$Wm^{-2}\mu m^{-1}$
Spectral irradiance (in)	$E\lambda$	$Wm^{-2}\mu m^{-1}$
Spectral radiance	$L\lambda$	$Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$

where sr = steradian (unit of solid angle)