


CURSO DE CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA CON MODTRAN



Dr. Juan Manuel Sánchez
Profesor Ayudante Doctor en el
Departamento de Física Aplicada, UCLM
e
Investigador del Grupo de Teledetección
Térmica, UV



TEMA 1. Fundamentos de la Transferencia Radiativa

1. Radiación electromagnética. Longitud de onda, frecuencia y número de onda.
2. Regiones espectrales. Espectro solar y terrestre. Regiones espectrales en Teledetección.
3. Magnitudes radiométricas básicas. Radiancia espectral e integrada en banda.
4. Relación entre radiancia y densidad de flujo. Aproximación lambertiana.



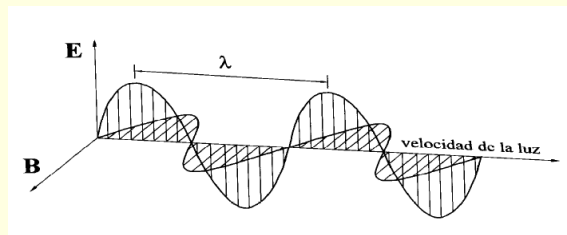
Radiación Electromagnética

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos perpendiculares entre sí y a su vez a la dirección de propagación de la radiación.

Dichos campos se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.

Se puede propagar en el vacío.

El estudio teórico de la radiación electromagnética se denomina electrodinámica, dentro del campo del electromagnetismo.



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012



Radiación electromagnética

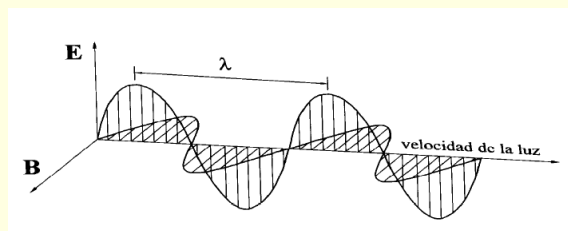
La radiación electromagnética se puede considerar bien como una serie de ondas o bien como un chorro de partículas, llamadas fotones. Esta dualidad onda-corpúsculo hace que cada fotón tenga una energía:

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

Considerando la radiación electromagnética 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 .

$$\lambda f = c$$

$$v = \frac{1}{\lambda}$$

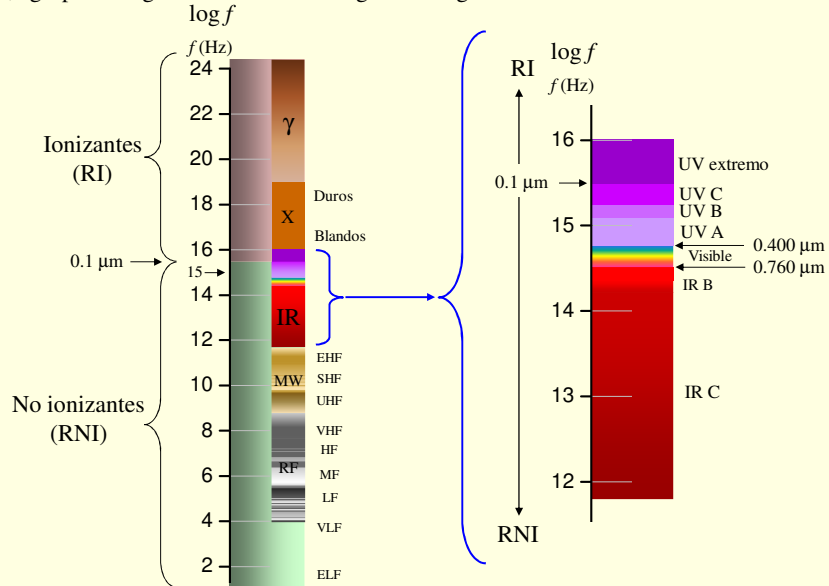


Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Espectro electromagnético

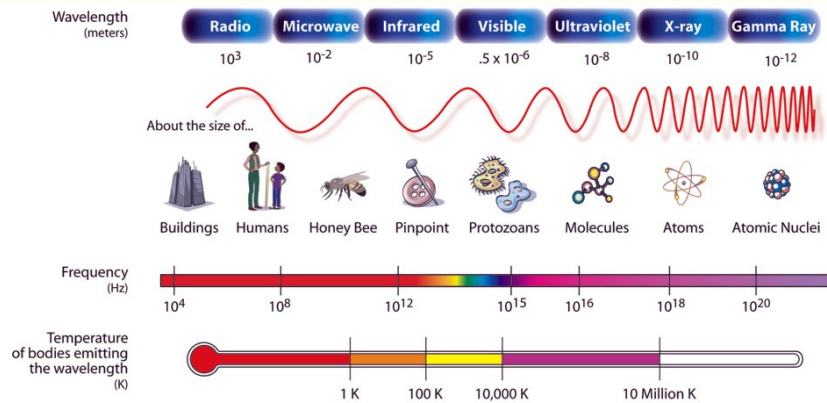
Espectro electromagnético es el conjunto diferenciado de las distintas radiaciones EM, agrupadas según su frecuencia o según su longitud de onda.



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Espectro electromagnético

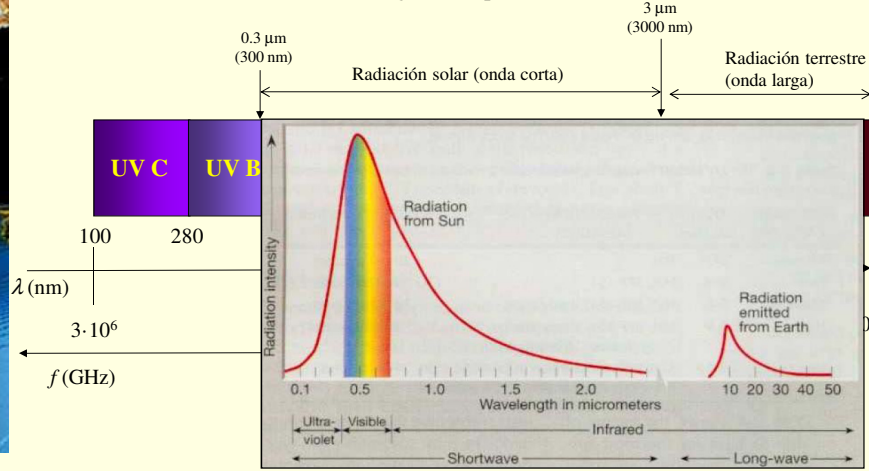


Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Espectro Solar y Terrestre

Bandas espectrales adoptadas por la Comisión Internacional de Iluminación
(Commission International de l'Eclairage, CIE) para UV, visible e IR



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Regiones espectrales en Teledetección

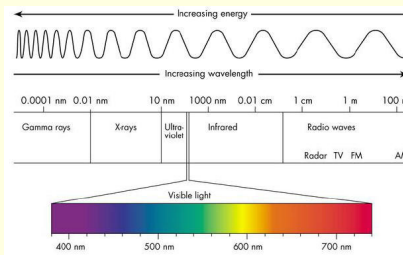
Desde siempre hemos utilizado la luz visible, reflejada o emitida por los objetos, para informarnos de lo que nos rodea, sin embargo el ojo humano está limitado a la porción visible del espectro (0,4-0,7 μm).

Podemos extender nuestro dominio de exploración hasta las microondas.

La energía electromagnética es el medio por el cual la información se transmite de un objeto hacia el sensor a bordo de un satélite, avión o plataforma terrestre.

Esta información se propaga a la velocidad de la luz desde la fuente hacia el sensor.

La interacción de las ondas electromagnéticas con las superficies naturales y la atmósfera depende fuertemente de la frecuencia de las ondas.



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Regiones espectrales en Teledetección

Gamma Rays
Región poco utilizada en Teledetección debido a la opacidad de la atmósfera a este tipo de radiaciones

X Rays
Uso también limitado, pero con éxito en el estudio de atmósferas de otros planetas y superficies de planetas sin atmósfera.

Ultraviolet
Los intervalos más utilizados en Teledetección, por espectrómetros, radiómetros, polarímetros y lasers.

Visible
También de gran interés en Teledetección, se emplean radiómetros de microondas y sistemas de radar.

Infrared
Región usada por sensores activos como los altímetros y radares imagen.

Microwaves

Radio waves

En Teledetección, el soporte de la información de las ondas electromagnéticas es la medida de su intensidad por medio de sensores específicos.

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN *Buenos Aires, Mayo 2012*

REGIONES ESPECTRALES EN TELEDETECCIÓN

Gamma Rays

X Rays

Ultraviolet

Visible

Infrared

Microwaves

Radio waves

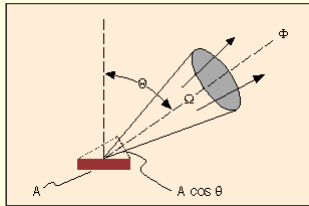
Crab Nebula

En Teledetección, el soporte de la información de las ondas electromagnéticas es la medida de su intensidad por medio de sensores específicos.

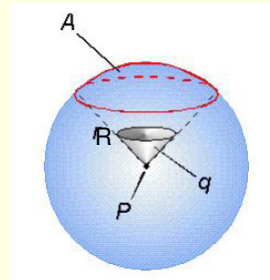
Buenos Aires, Mayo 2012

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*; el símbolo de su unidad es "sr." El ángulo sólido es una cantidad adimensional.
- Como el área de una esfera de radio unidad es 4π , hay 4π estereorradianes de ángulo sólido en una esfera.



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



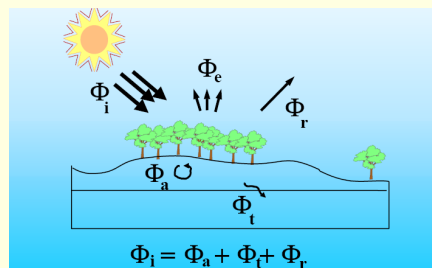
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Magnitudes radiométricas básicas

El **Flujo radiante Φ** , es la **energía radiante (Q)** emitida, transportada, o recibida por unidad de tiempo. Se mide en watos (W), y no aporta ninguna información de la distribución de la radiación, ni de la dirección sobre una superficie.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$



Principio de conservación de la energía en el sistema sol-atmósfera-superficie

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

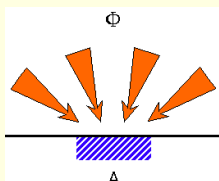
Magnitudes radiométricas básicas

La **Densidad de flujo radiante**, F (W/m^2) se define como:

$$F = \frac{d\Phi}{dS}$$

dS puede pertenecer a una fuente o a un detector

➤ La densidad de flujo radiante se denomina **Irradiancia**, E , cuando la radiación se recibe sobre la superficie, y **Emitancia o Excitancia**, M , cuando se emite por la fuente.

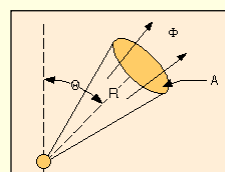


$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

Magnitudes radiométricas básicas

Introduciendo ya la direccionalidad, definimos la **Intensidad radiante**, I (W/Sr), para fuentes puntuales:

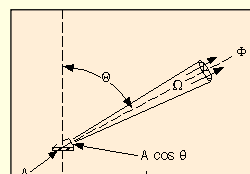
$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} = \frac{d^2Q}{dt d\Omega}$$



Para fuentes no puntuales definimos la **Radiancia**, L (W/m^2Sr):

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega d\Sigma} = \frac{d^3Q}{dt d\Omega d\Sigma} = \frac{d^3Q}{dt d\Omega dA \cos \theta}$$

↑
perpendicular

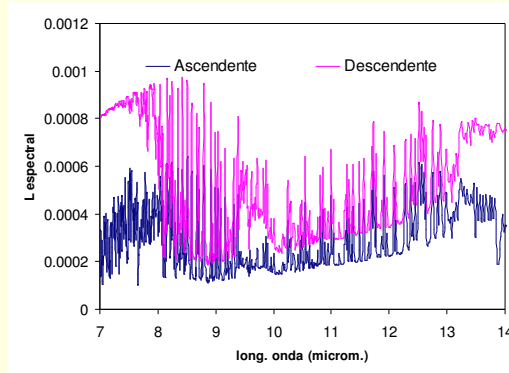


* El Sol sí es una fuente puntual, pero el cielo no

Magnitudes radiométricas básicas

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 ($\text{W}/\text{m}^2\text{Sr } \mu\text{m}$).

$$dL = L_\lambda d\lambda$$



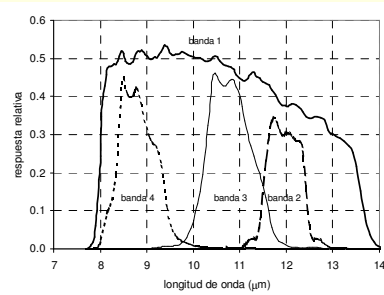
Ejemplo de un espectro de radiancia emitida por la atmósfera, bajo unas condiciones concretas.

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

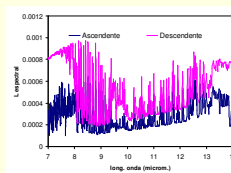
RADIANCIA ESPECTRAL E INTEGRADA EN BANDA

Los instrumentos de medida no suelen registrar los valores espectrales de radiancia, sino 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 λ_s , sino que viene determinada por los valores relativos del filtro, $f_i(\lambda)$



$$L_i = \frac{\int_{\lambda_{4i}}^{\lambda_{2i}} f_i(\lambda) L_\lambda d\lambda}{\int_{\lambda_{4i}}^{\lambda_{2i}} f_i(\lambda) d\lambda}$$

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



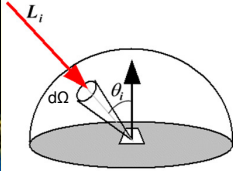
L_1, L_2, L_3, L_4

Buenos Aires, Mayo 2012

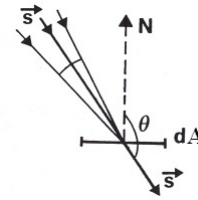
Magnitudes radiométricas básicas

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:

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

Ejemplo: Radiancia atmosférica descendente

$$R_i(\theta, h) = \left\{ \varepsilon_i(\theta) B_i(T_c) + [1 - \varepsilon_i(\theta)] L_i^{\downarrow \text{atm hem}} \right\} \tau_i(\theta, 0, h) + L_i^{\uparrow \text{atm}}(\theta)$$

$$L_i^{\downarrow \text{atm hem}} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_i^{\downarrow \text{atm}}(\theta, \phi) \sin(\theta) \cos(\theta) d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \sin(\theta) \cos(\theta) d\theta d\phi}$$

$$L_i^{\downarrow \text{atm}}(\theta) \approx L_i^{\downarrow \text{atm}}(0^\circ) \cos^{-x_i}(\theta)$$

$$L_i^{\downarrow \text{atm hem}} \approx \frac{2}{2 - x_i} L_i^{\downarrow \text{atm}}(0^\circ)$$

$$L_i^{\downarrow \text{atm hem}} \approx L_i^{\downarrow \text{atm}}(\theta_{ef}) \quad \theta_{ef} \approx \arccos \left[\left(\frac{2 - x_i}{2} \right)^{1/x_i} \right]$$

Resumen

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)

TEMA 2. Emisión y reflexión de superficies naturales

1. Ley de Planck, Ley de Wien, Ley de Stefan-Boltzmann.
2. Emisión de superficies naturales. Emisividad. Ley de Kirchhoff.
3. BRDF y Reflectividad. .
4. Albedo.
5. Relación emisividad-reflectividad.
6. Reflectividad/emisividad en los dominios solar y térmico.

Ley de Planck

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

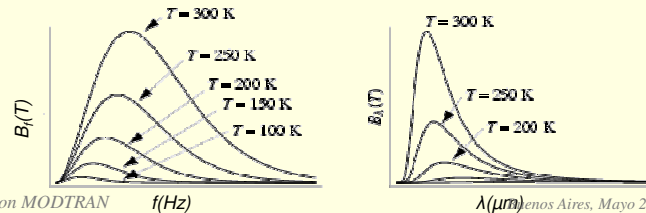
$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 (\exp(\frac{hc}{\lambda kT}) - 1)} = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(\frac{C_2}{\lambda T}) - 1]}$$

$$C_{1\lambda} = 2hc^2 = 1,191 \cdot 10^8 \text{ W m}^{-2} \mu\text{m}^4 \text{ Sr}^{-1}$$

$$C_{2\lambda} = hc/k = 1,4388 \cdot 10^4 \mu\text{m K}$$

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

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



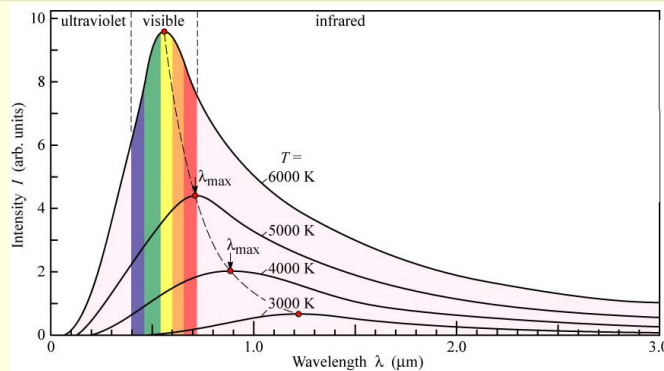
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Ley de Wien

El poder emisor monocromático del cuerpo negro presenta un máximo para una determinada longitud de onda. El valor de esa longitud de onda $\lambda_{m\acute{a}x}$ para la cual se encuentra el máximo se deduce a partir de la ley de Planck imponiendo la condición de extremo para una determinada temperatura T :

$$\frac{dB_{\lambda}(T)}{d\lambda} = 0 \quad \longrightarrow \quad \lambda_{m\acute{a}x} T = 2,8975 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

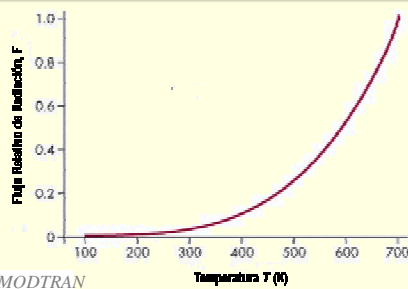
Ley de Stefan-Boltzman

Expresa la densidad de energía radiante en el interior de una cavidad de cuerpo negro en términos de temperatura T. Establece que el poder emisor 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 para todas las λ_s del espectro.

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

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



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

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 $L_\lambda(T)$, que en función de la del cuerpo negro $B_\lambda(T)$, se puede escribir:

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

Donde ε_λ es la emisividad del cuerpo, y toma valores siempre inferiores a la unidad.

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

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

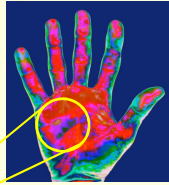
$\varepsilon_\lambda(T) = cte = 0$ \Rightarrow Reflector perfecto

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Emisividad

$$L_{\lambda}(T) = \epsilon_{\lambda} B_{\lambda}(T)$$



T = 36.5 °C

$$\epsilon < 1$$



T = 33.2 °C

Table of emissivity values of common materials

Aluminium*	0.30
Asbestos	0.95
Asphalt	0.95
Basalt	0.70
Brass*	0.50
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*	0.50
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

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Ley de Kirchoff

Si se introduce un cuerpo en una cavidad de radiación en la que se tiene un régimen de cuerpo negro, y se considera que el cuerpo absorbe una fracción α_{λ} del flujo radiante y emite su propia radiancia L_{λ} , se llega a:

$$(1 - \alpha_{\lambda}) B_{\lambda}(T) + L_{\lambda} = B_{\lambda}(T)$$

que conduce a la solución:

$$L_{\lambda} = \alpha_{\lambda} B_{\lambda}(T)$$

$$0 \leq \alpha_{\lambda} \leq 1$$

Cuerpo negro $\longrightarrow \alpha_{\lambda} = 1$

Si el cuerpo situado en el interior de la cavidad se encuentra en equilibrio de radiación, se encontrará a la temperatura T, y por tanto:

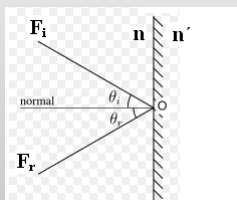
$$L_{\lambda}(T) = \alpha_{\lambda} L_{\lambda}^B(T) = \epsilon_{\lambda} L_{\lambda}^B(T) \longrightarrow \alpha_{\lambda} = \epsilon_{\lambda}$$

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

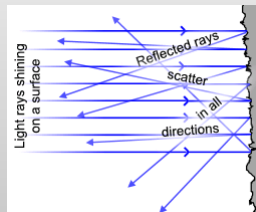
Reflexión especular y difusa

Cuando la radiación incide sobre una superficie de separación entre dos medios con distinto índice de refracción, se produce el fenómeno de la reflexión.



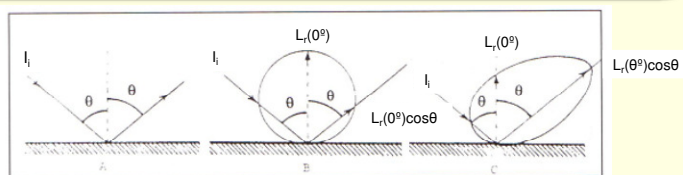
Reflexión especular

(cuando la superficie sobre la que incide el flujo es suficientemente lisa en relación con la longitud de onda incidente)



Reflexión difusa

(más o menos acentuada dependiendo de la rugosidad de la superficie)



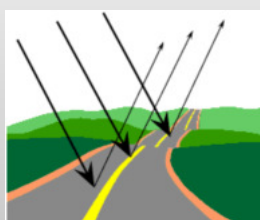
Especular

Lambertiana

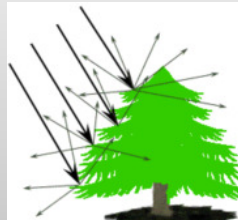
No lambertiana

Reflexión especular y difusa

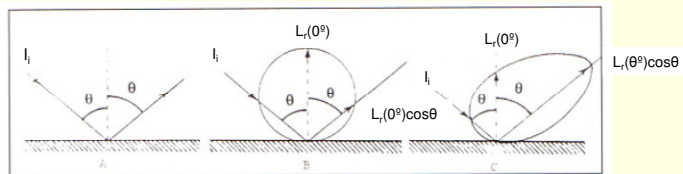
Cuando la radiación incide sobre una superficie de separación entre dos medios con distinto índice de refracción, se produce el fenómeno de la reflexión.



Reflexión especular



Reflexión difusa



Especular

Lambertiana

No lambertiana

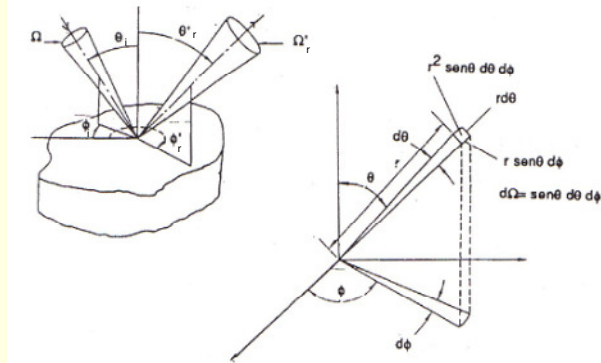


BRDF

Las características reflectivas de una superficie quedan fundamentalmente descritas por la **función de distribución de reflectividad bidireccional** (Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF):

$$BRDF_{\lambda}(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) = \frac{dL_{\lambda r}(\theta_r, \phi_r)}{dE_{\lambda i}(\theta_i, \phi_i)} = \frac{dL_{\lambda r}(\theta_r, \phi_r)}{L_{\lambda i}(\theta_i, \phi_i) \cos \theta_i \sin \theta_i d\theta d\phi}$$

La BRDF no puede ser medida directamente puesto que es un cociente de infinitesimales, es una derivada con valores "instantáneos" que no pueden medirse directamente.



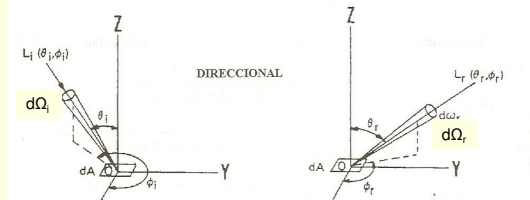
Reflectividad

La reflectividad se define como la fracción del flujo de radiación incidente que es reflejado en la superficie

$$\rho_{\lambda}(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) = \frac{d\phi_r}{d\phi_i} = \frac{\iint BRDF_{\lambda}(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) L_{\lambda i}(\theta_i, \phi_i) d\Omega_i d\Omega_r}{\int L_{\lambda i}(\theta_i, \phi_i) d\Omega_i}$$

Esta ecuación es una expresión general para la reflectividad con una configuración geométrica determinada por las direcciones del haz incidente y reflejado. A partir de ella se deducen otras expresiones en función de las diferentes geometrías.

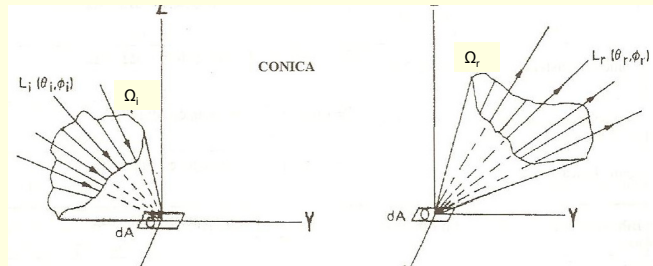
Si el ángulo sólido involucrado es infinitesimal tenemos:



La **reflectividad bidireccional** no está determinada por una única propiedad de la muestra sino que depende de la instrumentación utilizada, ya que depende de la proyección del ángulo sólido de reflexión.

Reflectividad

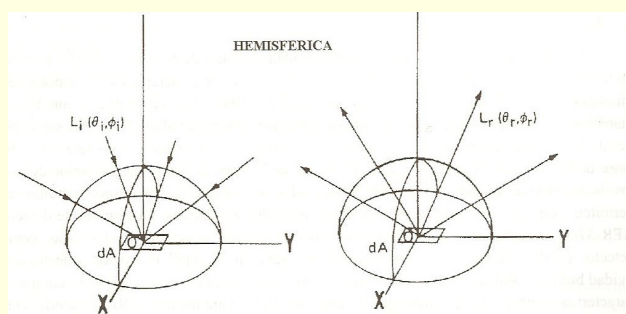
Si el ángulo sólido involucrado no es infinitesimal tenemos:



$$\rho_{\lambda}(\Omega_i, \Omega_r) = \frac{1}{\Omega_i} \int_{\Omega_i} \int_{\Omega_r} BRDF_{\lambda}(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) d\Omega_i d\Omega_r$$

Reflectividad

Si el ángulo sólido involucrado es toda la bóveda celeste:



$$\rho_{\lambda_h}(2\pi, 2\pi) = \frac{1}{2\pi} \int_{2\pi} \int_{2\pi} BRDF_{\lambda}(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) d\Omega_i d\Omega_r$$

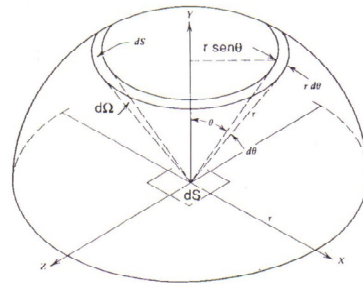
Aproximación Lambertiana

Una superficie perfectamente difusora (superficies Lambertianas), es aquella en la que la radiancia, L , es constante para cualquier ángulo de reflexión θ .

Pocos objetos naturales tienen superficies especulares. De ordinario las superficies naturales se aproximan más a las superficies Lambertianas. Muchas superficies naturales son lambertianas hasta unos ángulos zenitales de 40° y algunas como la nieve o desiertos hasta 50° o 60° . Respecto al ángulo acimutal la radiancia presenta pocas variaciones, salvo en cultivos en filas por ejemplo.

Para el caso de una superficie lambertiana: $L_\lambda(\theta, \phi) = L_\lambda(0, 0) = L_\lambda$

$$\rho_{\lambda h} = \frac{d\phi_{rh}}{d\phi_i} = \frac{\pi L_{\lambda r} dA}{E_{\lambda i} dA} = \frac{\pi L_{\lambda r}}{E_{\lambda i}}$$



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Albedo

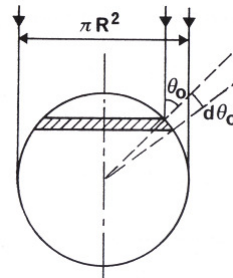
La **reflectividad esférica o planetaria**, ρ^* , es el cociente entre el flujo total (integrado a todas las longitudes de onda corta) reflejado por el planeta, Φ_r , y el flujo total (integrado a todas las longitudes de onda corta) recibido, Φ_i :

$$\rho^* = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}$$

$$\Phi_i = \pi R^2 F$$

$$\Phi_r = \int_0^{\pi/2} \rho(\theta_0) 2\pi R^2 F \cos \theta_0 \sin \theta_0 d\theta_0$$

* F se conoce como **irradiancia solar extraterrestre** (E_0 o I_0)

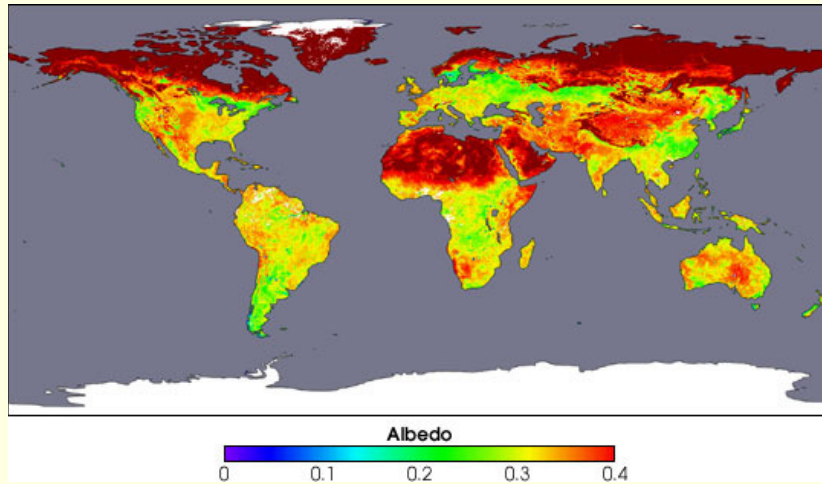


SUPERFICIE	ALBEDO %
Nieve fresca	80-85
Arena	20-30
Pasto	20-25
Bosque	5-10
Suelo seco	15-25
Agua (sol cerca del horizonte)	50-80
Agua (sol cerca del cenit)	3-5
Nube gruesa	70-80
Nube delgada	25-30
Tierra y atmósfera global	30

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Albedo

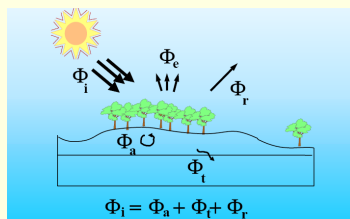


Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Relación reflectividad, emisividad, transmisividad

Volviendo al principio de conservación de la energía, y de acuerdo con todas las definiciones vistas hasta ahora:



$$1 = \frac{\phi_a}{\phi_i} + \frac{\phi_r}{\phi_i} + \frac{\phi_t}{\phi_i} = \alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda$$

De acuerdo con la ley de Kirchoff:

$$\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda$$



$$1 = \varepsilon_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda$$

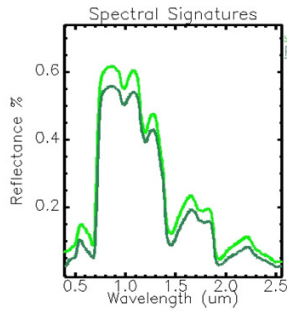
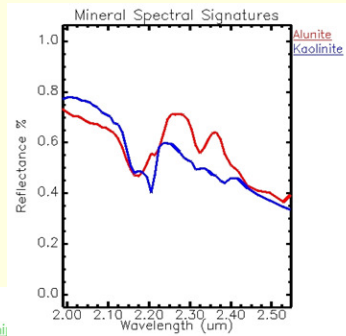
Si la transmisividad es nula:

$$\varepsilon_\lambda = 1 - \rho_\lambda$$

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Reflectividad de superficies naturales



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

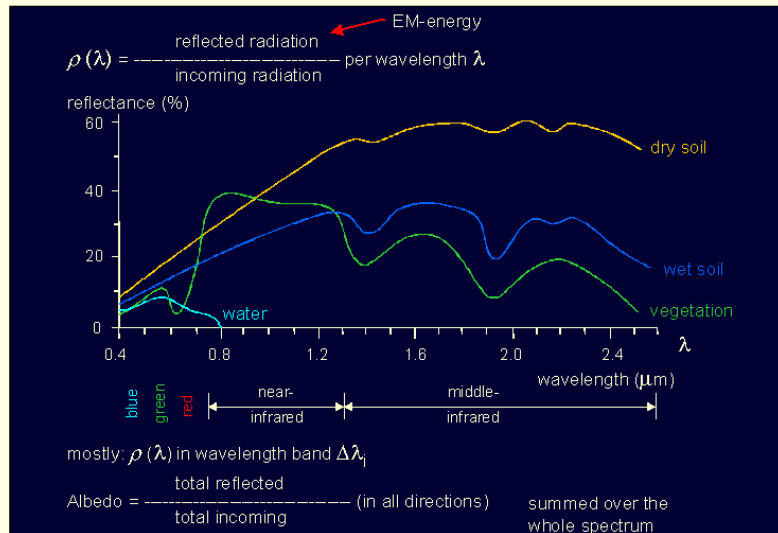
Pinyon Pine

Spectral reflectance signatures

Juniper

Buenos Aires, Mayo 2012

Reflectividad de superficies naturales



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012



TEMA 3. Transferencia Radiativa en la Atmósfera

1. Principales Componentes: Gases, Aerosoles y Nubes
2. Procesos de absorción
3. Procesos de dispersión. Rayleigh y Mie.
4. Extinción en la atmósfera
5. Ecuación de Transferencia Radiativa (ETR)

Buenos Aires, Mayo 2012



COMPONENTES GASEOSOS

Hace unos 2.000 millones de años, la atmósfera ya tenía una composición similar a la que posee en la actualidad.

Componente	% masa
N ₂	75.51
O ₂	23.15
Ar	1.28
CO ₂	0.05

El resto de la masa lo integran los *componentes minoritarios* (0.01%). La concentración de los componentes de la tabla (*componentes mayoritarios*, 99.9%) es muy estable, a excepción del CO₂ que ha aumentado durante el último siglo.

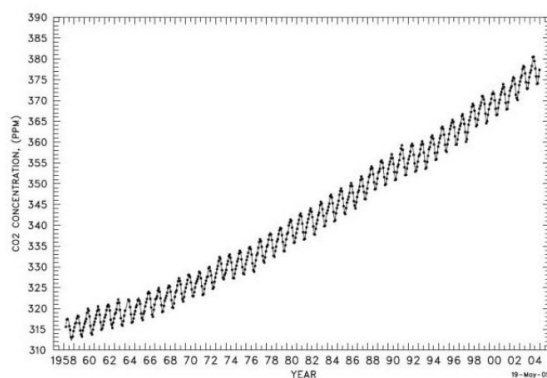
Durante ese período de tiempo, se redujo el contenido de CO₂, desapareció la mayor parte del H₂O, se hizo dominante el N₂ y apareció el O₂.

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

COMPONENTES GASEOSOS

El CO₂ es el único componente mayoritario que ha sufrido cambios en la historia reciente de la atmósfera, debido principalmente a la contribución antropogénica producida desde los inicios de la revolución industrial.



Fuente: Keeling, C.D. and T.P. Whorf. 2005. Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.)

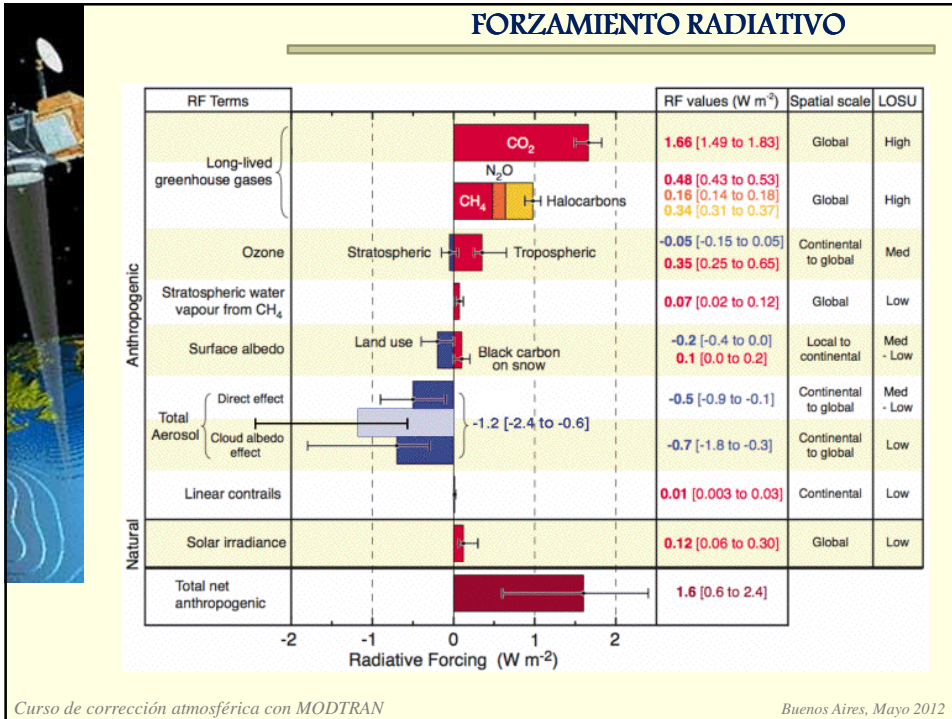
PRINCIPALES COMPONENTES

El resto de componentes minoritarios (0.01%) lo forman gases que pueden tener gran variabilidad (2-3 órdenes de magnitud), que incluyen H₂O, Ne, He, NH₄, Kr, O₃, CO, SO₂, N₂O, NO, H... La masa molecular media del aire seco es de 28.96 g/mol.

COMPONENTE	MASA MOLAR	CONCENTRACIÓN		ESPESOR RELATIVO
		MOLECULAR	EN MASA	
Nitrógeno	28.02	78.08%	75.51%	6.35 km
Oxígeno	32.00	20.95%	23.14%	1.68 km
Argón	39.94	0.93%	1.28%	74 m
Neón	20.18	18 ppm	13 ppm	15 cm
Helio	4.00	5 ppm	0.7 ppm	4 cm
Kriptón	83.70	1 ppm	2.9 ppm	8 mm
Hidrógeno	2.02	0.5 ppm	0.03 ppm	4 mm
Dióxido de Carbono	44.01	350 ppm	533 ppm	2.8 m
Ozono	48.00	0-12 ppm	0-20 ppm	0-1 mm
Vapor de agua	18.02	0-4 %	0-2.5 %	0-300 m

ppm = Partes por millón.

Esesor relativo : Esesor que tendría el componente si se concentrara en una sola capa.



AEROSOLES

- Propiedades microfísicas:
 - **Tamaño**
 - **Composición**
 - **Forma**
- Propiedades ópticas o radiativas:
 - **Espesor óptico**
 - **Función de fase**
 - **Albedo de dispersión simple**
- **Distribución vertical de la concentración.**

$$\delta_A(\lambda) = \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \sigma_{\text{ext}}(r) \frac{n(r)}{r} dr$$

Ley de Angström

$$\delta_A(\lambda) = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}$$

β: coeficiente de turbiedad (=AOD a 1μm)
α: exponente de Angström de tamaño.

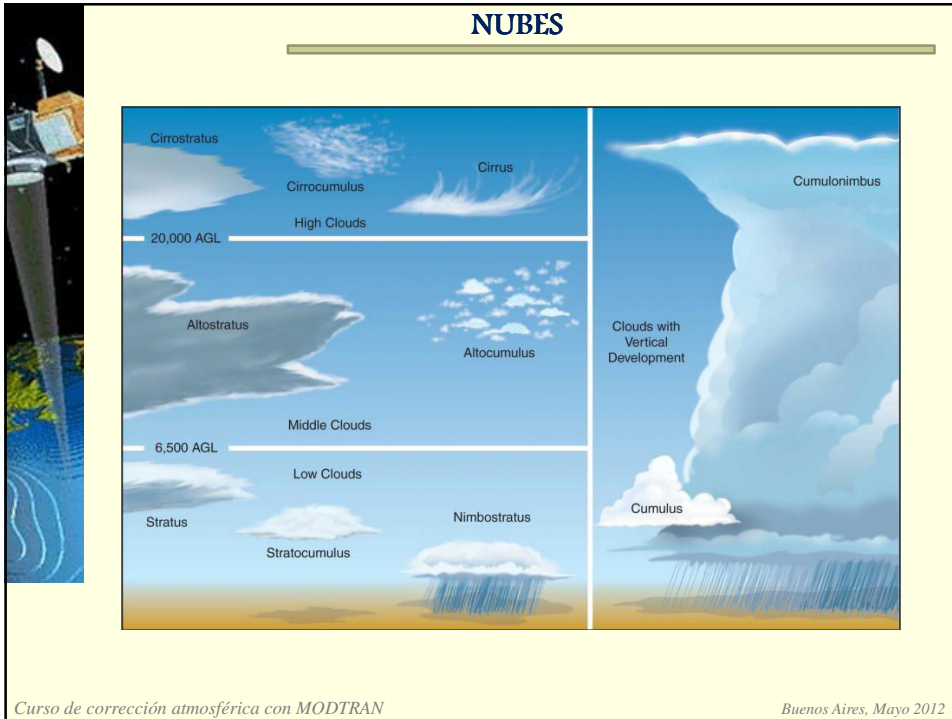
- A mayor α, menor radio y domina modo de acumulación.
- A menor α, mayor radio y domina modo grueso.

$$F(\lambda) = F_0(\lambda) \exp(-m\delta(\lambda))$$

$$\delta(\lambda) = \delta_a(\lambda) + \delta_{O_3}(\lambda) + \delta_w(\lambda) + \delta_{NO_2}(\lambda) + \delta_g(\lambda)$$

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN Buenos Aires, Mayo 2012

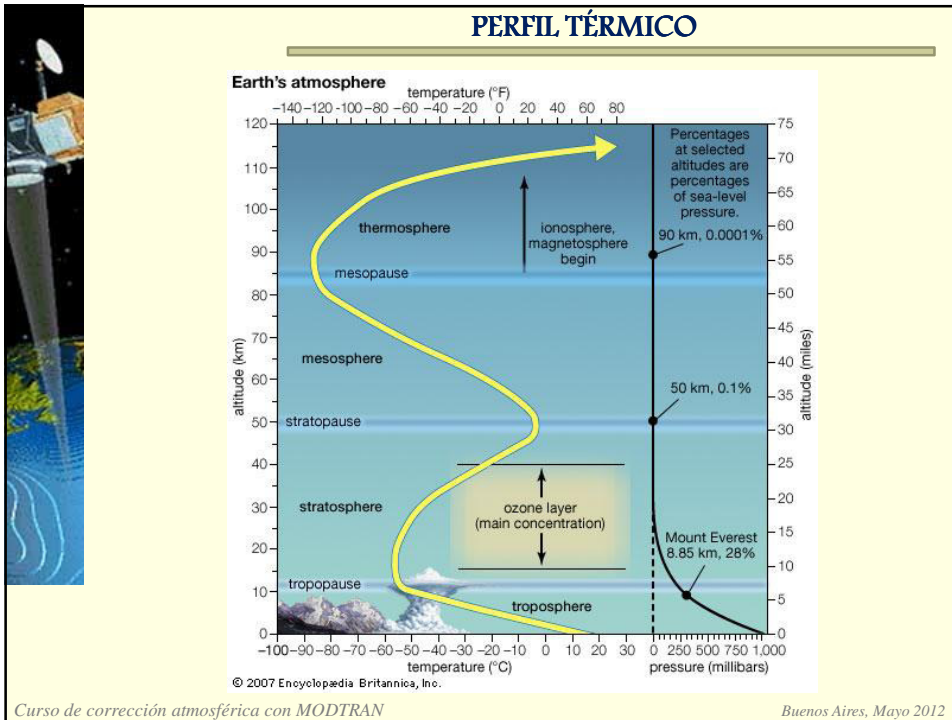
NUBES



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

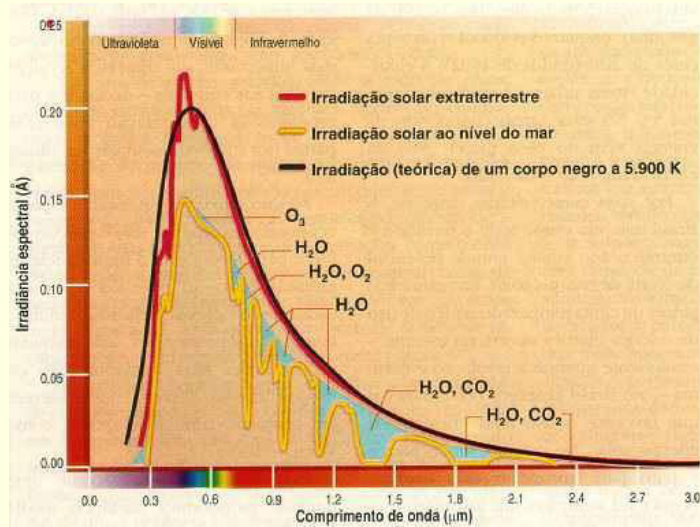
PERFIL TÉRMICO



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

ABSORCIÓN Y DISPERSIÓN

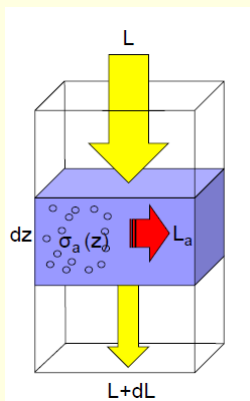


- Absorción (selectiva).
- Dispersión (continua).

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

ABSORCIÓN EN LA ATMÓSFERA



$$dL = -\sigma_a(\lambda, z)Ldz$$

La energía absorbida se invierte en otros procesos que luego veremos. σ_a es el *coeficiente de absorción en volumen* (cm^{-1}), que nos da la fracción de energía absorbida en la capa dz .

Si sumamos la absorción producida por cada capa dz para toda la columna atmosférica (integramos), resultaba la *Ley de Beer de absorción*:

$$L(0) = L(\infty) \exp\left(-\int_0^{\infty} \sigma_a(\lambda, z) dz\right) = L(\infty) \exp(-\delta_a(\lambda))$$

donde δ_a era el *espesor óptico de absorción*, es decir:

$$\delta_a(\lambda) = \int_0^{\infty} \sigma_a(z) dz$$

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

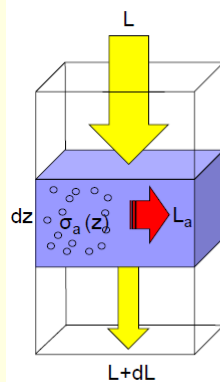
Buenos Aires, Mayo 2012

ABSORCIÓN EN LA ATMÓSFERA

Coeficiente de absorción: según definición del material absorbente

Cantidad de materia absorbente		Coeficiente de absorción	
DENOMINACIÓN	UNIDADES	DENOMINACIÓN	UNIDADES
Camino recorrido (x) (P,T)	cm	Absorción de volumen	cm ⁻¹
Masa por unidad de sección $\frac{m}{s} = \rho \frac{vol}{s} = \rho x$	gcm ⁻²	Absorción de masa $\sigma_a^m = \frac{\sigma_a}{\rho}$	g ⁻¹ cm ²
Número de moléculas por unidad de sección $\frac{N}{s} = \frac{N}{m} \frac{\rho}{\rho} vol = \frac{N}{m} \frac{\rho}{\rho} \frac{vol}{s} = nx$	cm ⁻² (moléculas/cm ²)	Sección eficaz molecular $\sigma_a^{mol} = \frac{\sigma_a}{n}$	cm ² (cm ² /moléculas)
Camino recorrido reducido (a P _s =1atm; T _s =273.16K) $u = x \left(\frac{P}{T} \right) \left(\frac{T_s}{P_s} \right)$	cm atm	Absorción de volumen reducido $\sigma_a^r = \sigma_a \left(\frac{P_s}{P} \right) \left(\frac{T}{T_s} \right)$	(cm atm) ⁻¹

ABSORCIÓN EN LA ATMÓSFERA



Además la transmisividad total se obtiene con esta expresión,

$$\tau = \frac{L(0)}{L(\infty)} = \exp(-\delta_a)$$

Y la radiancia absorbida por la capa atmosférica dz, es:

$$\alpha = 1 - \frac{L(0)}{L(\infty)} = 1 - \tau$$

Qué ocurre con la energía absorbida en esta capa de la atmósfera?

ABSORCIÓN EN LA ATMÓSFERA

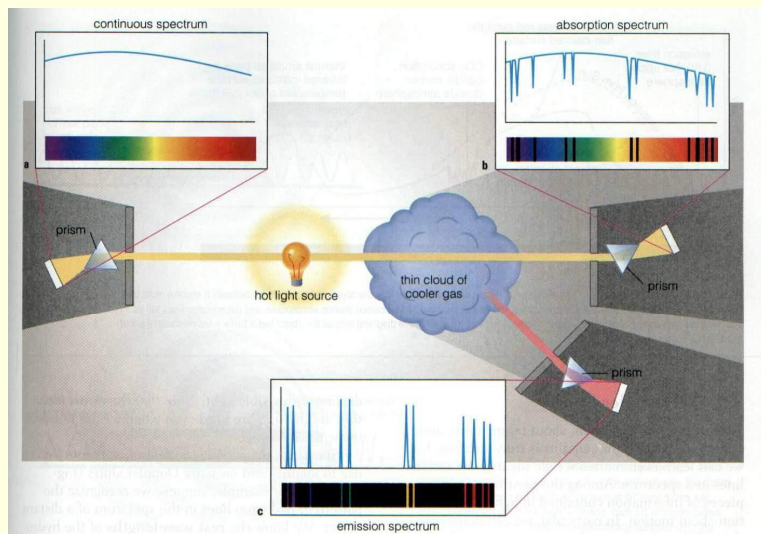


FIGURE 7.13 (a) An opaque object, such as a light bulb filament, produces a continuous spectrum of thermal radiation. (b) If thermal radiation passes through a thin gas that is cooler than the thermal emitter, dark absorption lines are superimposed on the continuous spectrum. (c) Viewed against a cold, dark background, the same gas produces an emission line spectrum.

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

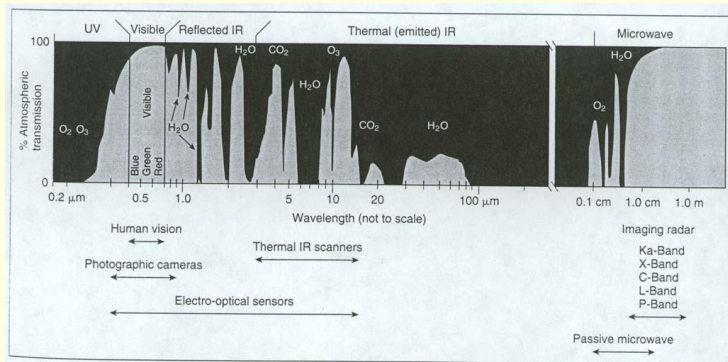
ABSORCIÓN EN LA ATMÓSFERA

Nombre de la banda	Región espectral	Maxima absorción
Oxígeno		
Hopfield	-100 nm	121.6 nm
Lyman	100-125 nm	
Schumann-Runge	125-200 nm	
Horzberg	200-260 nm	
Nitrogeno molecular		
bandas de ionización	-80 nm	
Tanaka-Werley	80-100 nm	
Lyman-Birge-Hopfield	100-145 nm	
Ozono		
Hartley	200-300 nm	
Huggin	300-360 nm	
Chappuis	440-1180 nm	
Vapor de Agua (µm)		
		µm
α	0.7 - 0.74	0.718
0.8 µ	0.79 - 0.84	0.810
ρστ	0.926 - 0.978	0.935
φ	1.095 - 1.165	1.130
ψ	1.319 - 1.498	1.395
Ω	1.762 - 1.977	1.870
X	2.520 - 2.845	2.680
CO₂		
rain		0.572
rain		0.703
		1.450
		1.600
		2.000
		2.700
		4.300

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

ABSORCIÓN EN LA ATMÓSFERA



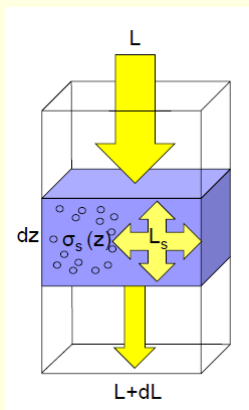
En el microondas, los principales absorbentes son el vapor de agua y oxígeno.

Las bandas IR 3.5 – 4.1 μm y 10.5 – 12.5 μm son dos importantes ventanas atmosféricas pues coinciden con el pico de emisión del cuerpo negro a la temperatura de la Tierra.

En el visible es importante también el efecto de la dispersión, no sólo la absorción.

En el UV nos encontramos con las bandas de absorción del ozono y oxígeno, relacionadas con transiciones electrónicas.

DISPERSIÓN EN LA ATMÓSFERA



$$dL = -\sigma_s(\lambda, z)Ldz$$

Al contrario que antes, la energía únicamente se desvía hacia otras direcciones, no se absorbe. σ_s era el *coeficiente de dispersión en volumen* (cm⁻¹), que nos da la fracción de energía dispersada en la capa dz.

la *Ley de Beer de dispersión*:

$$L(0) = L(\infty) \exp\left(-\int_0^\infty \sigma_s(\lambda, z) dz\right) = L(\infty) \exp(-\delta_s(\lambda))$$

donde δ_s era el *espesor óptico de dispersión*, es decir:

$$\delta_s(\lambda) = \int_0^\infty \sigma_s(z) dz$$

DISPERSIÓN EN LA ATMÓSFERA

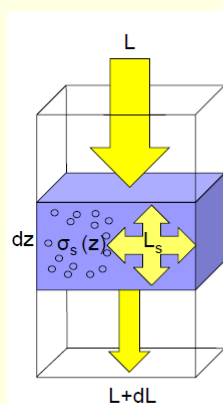
Coefficiente de dispersión: según definición del material dispersor

Cantidad de materia dispersora		Coeficiente de dispersión	
DENOMINACIÓN	UNIDADES	DENOMINACIÓN	UNIDADES
Camino recorrido (x) (P,T)	cm	Dispersión en volumen	cm ⁻¹
Masa por unidad de sección $\frac{m}{s} = \rho \frac{\text{vol}}{s} = \rho x$	gcm ⁻²	Dispersión en masa $\sigma_s^m = \frac{\sigma_s}{\rho}$	g ⁻¹ cm ²
Número de moléculas por unidad de sección $\frac{N}{s} = \frac{N}{s} \frac{\rho}{m} \text{vol} = N \frac{\rho \text{vol}}{m s} = n x$	cm ⁻² (molécula/cm ²)	Sección eficaz molecular $\sigma_s^{\text{mol}} = \frac{\sigma_s}{n}$	cm ² (cm ² /molécula)
Camino recorrido reducido (a P _s =1atm, T _s =273.16K) $u = x \left(\frac{P}{T} \right) \left(\frac{T_s}{P_s} \right)$	cm atm	Dispersión de volumen reducido $\sigma_s^v = \sigma_s \left(\frac{P}{P_s} \right) \left(\frac{T_s}{T} \right)$	(cm atm) ⁻¹

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

DISPERSIÓN EN LA ATMÓSFERA



Además la transmisividad total se obtiene con esta expresión, tal como vimos en el tema 2:

$$\tau = \frac{L(0)}{L(\infty)} = \exp(-\delta_s)$$

Y la radiancia dispersada por la capa atmosférica dz, es:

$$\alpha = 1 - \frac{L(0)}{L(\infty)} = 1 - \tau$$

Cómo se produce la dispersión de los fotones del haz incidente?

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

DISPERSIÓN EN LA ATMÓSFERA

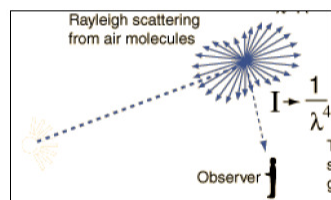
1. Átomos y moléculas: **teoría de Rayleigh** o molecular ($r \ll \lambda$)
2. Aerosoles: **teoría de Mie** ($r \approx \lambda$)
3. Gotas de nubes: **óptica geométrica** ($r \gg \lambda$).

Se define el **parámetro de tamaño**: $x \equiv \frac{2\pi r}{\lambda}$

DISPERSIÓN RAYLEIGH

DISPERSIÓN DE RAYLEIGH: Se produce en el caso de átomos o moléculas, ya que su tamaño es mucho menor que la longitud de onda del haz incidente ($x \ll 1$). La intensidad dispersada en la dirección θ respecto de la dirección de incidencia es:

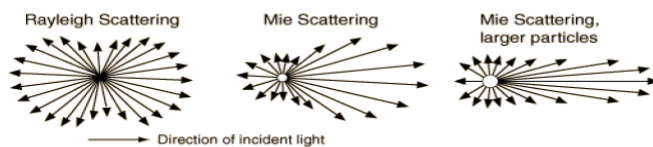
$$I \propto \frac{(1 + \cos^2\theta)}{\lambda^4}$$



- Cuanto mayor es la longitud de onda, menos dispersan (azul en el visible).
- La dispersión tiene poca dependencia con el ángulo de observación.
- Se dispersa lo mismo hacia delante que hacia detrás (simétrica).

DISPERSIÓN MIE

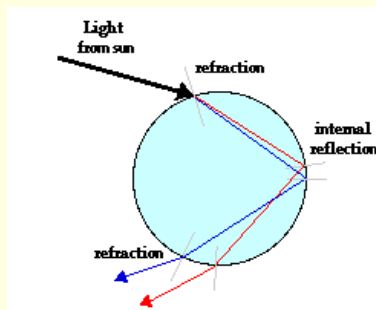
DISPERSIÓN DE MIE: Se produce en el caso de aerosoles, ya que su tamaño es del orden (o algo mayor) que la radiación incidente ($x > 1$).



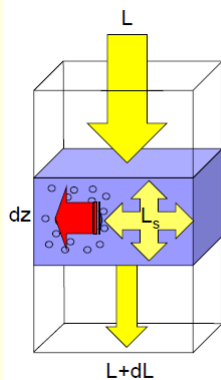
- Cuanto mayor es la partícula, se dispersa más radiación hacia delante (asimetría).
- La dispersión tiene mucha dependencia con el ángulo de observación.
- Se dispersan todos los colores por igual.

DISPERSIÓN EN NUBES

NUBES: En el visible se producen fenómenos de reflexión y refracción, explicados con la óptica geométrica. En el rango del microondas y radar, la relación entre el tamaño de la gota y la radiación cambia.



EXTINCIÓN EN LA ATMÓSFERA



$$dL = -\sigma_s(\lambda, z)Ldz \longrightarrow dL = -(\sigma_a + \sigma_s)Ldz$$

$$dL = -\sigma_a(\lambda, z)Ldz$$

σ_a era el *coeficiente de absorción en volumen* (cm^{-1}), y σ_s era el *coeficiente de dispersión en volumen* (cm^{-1}), de modo que: $\sigma_{\text{ext}} = \sigma_a + \sigma_s$

$$L(0) = L(\infty) \exp\left(-\int_0^{\infty} \sigma_{\text{ext}}(\lambda, z) dz\right) = L(\infty) \exp -\delta_{\text{ext}}(\lambda)$$

donde δ_{ext} era el *espesor óptico de extinción*, es decir:

$$\tau = \frac{L(0)}{L(\infty)} = \exp(-\delta_{\text{ext}})$$

$$\delta_{\text{ext}}(\lambda) = \int_0^{\infty} \sigma_{\text{ext}}(z) dz$$

Y la radiancia extinguida por la capa atmosférica dz , es:

$$\alpha = 1 - \frac{L(0)}{L(\infty)} = 1 - \tau$$

ECUACIÓN DE TRANSFERENCIA RADIATIVA

1. Término de **absorción**: $\frac{dL}{dz} = -\sigma_a L$

2. Término de **dispersión**: $\frac{dL}{dz} = -\sigma_s L$

3. Término **fuentes de emisión**:

$$\frac{dL}{dz} = \psi_t(z) = +\sigma_a B(\lambda, T)$$

4. Término **fuentes de dispersión**:

$$\frac{dL}{dz} = \psi_s(z) = +\sigma_s(z) J(\theta, \phi)$$

$$\frac{dL}{dz} = -\sigma_a L - \sigma_s L + \sigma_a B + \sigma_s J$$

$$J(\theta, \phi) = \frac{1}{4\pi} \int_0^{4\pi} L(\theta', \phi') p(\theta', \theta, \phi', \phi) d\Omega'$$

donde la función $p(\theta', \theta, \phi', \phi)$ es la **función de fase de dispersión**, que nos da la cantidad de radiación observada en la dirección (θ, ϕ) a partir de la que incide desde (θ', ϕ') .



TEMA 4. Corrección Atmosférica

1. Aplicación de la ETR a medidas de satélite en el **espectro solar**.
2. Reflectividad TOA y de superficie.
3. Métodos de corrección en el espectro solar.
4. Aplicación de la ETR a medidas de satélite en el **IRT**
5. Radiancia atmosférica. Efecto de la emisividad
6. Radiancia TOA. Temperatura de brillo
7. Métodos de corrección en el IRT

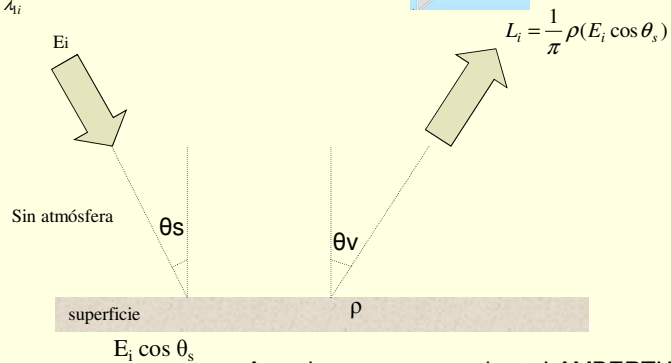
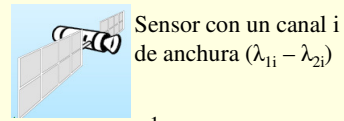
Buenos Aires, Mayo 2012



ETR en el Espectro Solar

En el caso ideal de 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.

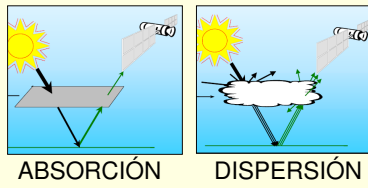
$$E_i = \frac{\int_{\lambda_{1i}}^{\lambda_{2i}} f_i(\lambda) E_\lambda d\lambda}{\int_{\lambda_{1i}}^{\lambda_{2i}} f_i(\lambda) d\lambda}$$



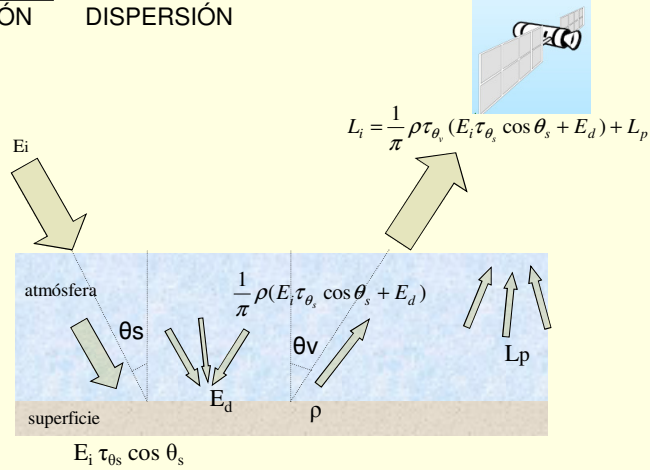
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

ETR en el Espectro Solar



La presencia de atmósfera modifica la situación debido a la absorción y dispersión de la radiación solar por parte de los gases, aerosoles y nubes (Tema 5).

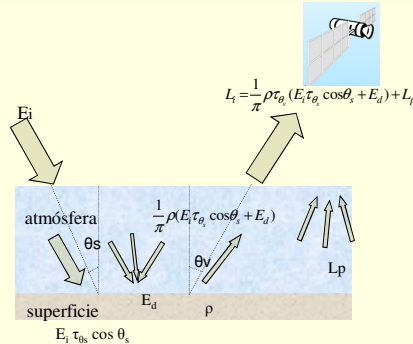


Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

ETR en el Espectro Solar

- **Transmisividad:** Debido a la absorción y dispersión, no toda la irradiancia solar llega al suelo. La cantidad que llega es función de τ_{θ_s} . También hay una transmisividad atmosférica entre el punto de reflexión y el sensor, τ_{θ_v} .
- **Radiación difusa:** La radiación es dispersada en su camino hacia abajo a través de la atmósfera. Por tanto existe una radiación difusa, E_d .
- **Radiancia atmosférica:** La capa atmosférica emite radiación que también se recibe en el sensor, L_p .



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012



ETR en el Espectro Solar

Orden de magnitud del efecto atmosférico

La mayor fuente de error proviene de la correcta especificación de las propiedades atmosféricas, sobre todo aerosoles y vapor de agua.

- La dispersión de Rayleigh (debida sobre todo a fluctuaciones en la densidad del aire) tiene un mayor efecto sobre superficies oscuras y es del orden del 6%. Depende de la presión.
- La corrección por ozono es del orden del 1%, y es aproximadamente constante a lo largo del año para latitudes medias.
- El vapor de agua afecta más a la región del infrarrojo próximo. Muy variable.
- Los aerosoles son la mayor fuente de error en la corrección atmosférica en el visible. También muy variable.



ETR en el Espectro Solar

Atmósferas estandar

Para poder realizar cálculos de transferencia radiativa, se definen unos modelos de atmósferas medias y extremas, claras y sin nubes:

- Tropical
- Verano de latitudes medias
- Invierno de latitudes medias
- Verano subártico
- Invierno subártico
- US Standard 76

Modelos de aerosoles

....

Reflectividad TOA y de Superficie

$$E_{toa} = \rho_{toa} E_{toa} + E_{abs} + E_s (1 - \rho)$$

Relación entre el albedo planetario y el albedo de la superficie para condiciones de atmósfera clara.

$$\rho_{toa} = a + b\rho$$

Fracción relativa de radiación dispersada al espacio por los gases y aerosoles. Transmisividad en una atmósfera clara, sin nubes.

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN *Buenos Aires, Mayo 2012*

Métodos de Corrección

Imagen Landsat 5-TM sin corregir

Imagen Landsat 5-TM corregida

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN *Buenos Aires, Mayo 2012*



Métodos de Corrección en el espectro solar

Los procedimientos habituales de corrección atmosférica se pueden agrupar en:

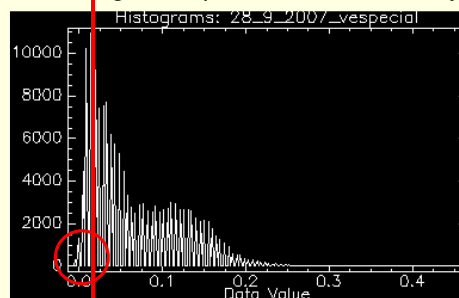
- Modelos físicos de transferencia radiativa.
- A partir de información obtenida de la propia imagen.
Es el menos fiable pero el más sencillo.
- Métodos de ajuste empírico.



Métodos de Corrección en el espectro solar

Métodos de corrección a partir de la imagen

- Asumen que en cualquier imagen puede detectarse píxeles oscuros que serían aquellos con irradiancia nula (superficies de agua limpia de cierta profundidad, píxeles de sombra).
- La irradiancia recibida por el sensor desde estos píxeles debería ser nula, si no, podemos asumir que se debe a la radiación atmosférica.
- Estos valores mínimos son una buena aproximación a L_p , y se sustraen a los valores originales para obtener una mejor estimación de L_i .



Métodos de Corrección en el espectro solar

Métodos de ajuste empírico

- ❑ Necesitamos medidas de la reflectividad en campo para dos zonas de la imagen: una con reflectividad alta y otra con reflectividad baja.
- ❑ Se establece una relación lineal entre los valores medidos y los observados, que se aplicará posteriormente a toda la imagen.

Métodos de Corrección en el espectro solar

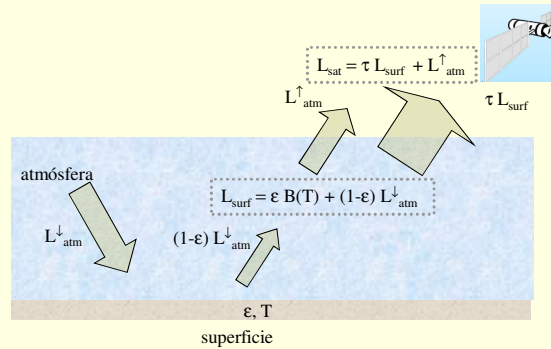
Modelos físicos de transferencia radiativa

- ❑ Se basan en una simulación de las condiciones de la atmósfera en función de las características físico-químicas de la misma, y el día y la hora de adquisición de la imagen.
- ❑ Si no se dispone de los parámetros físico-químicos necesarios puede utilizarse una de las atmósferas estándar vistas anteriormente.
- ❑ Si las condiciones no son las mismas en toda la imagen es preferible hacer la corrección por trozos.
- ❑ Los más conocidos son el 6S y **MODTRAN**



ETR en el IRT

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.



Ecuación de transferencia radiativa

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

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

ETR en el IRT

El efecto atmosférico: Medio **absorbente** y **emisor** (H_2O , CO_2 , O_3 , ...) Medio **no dispersivo** (excepto aerosoles)

Ecuación de transferencia radiativa

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

$$L_{atm}^{\uparrow}(\theta, h) = \int_0^h B(T_z) \frac{\partial \tau(\theta, h, z)}{\partial z} dz \quad \tau(\theta, h, z) = \exp\left\{-\int_z^h \frac{\kappa(z)\rho(z)}{\cos\theta} dz\right\}$$

T_z es la temperatura de la atmósfera en el nivel z , $\rho(z)$ es la concentración de vapor de agua, y $\kappa(z)$ el coeficiente de absorción espectral del vapor de agua, el cual depende de la altitud al ser dependiente de las condiciones atmosféricas de temperatura, presión y humedad.



Vital importancia de las características absorbentes del vapor de agua en las ventanas atmosféricas

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

ETR en el IRT

Ecuación de transferencia radiativa

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

$L_{\text{atm}}^{\downarrow}$ es el valor hemisférico de la radiancia emitida por la atmósfera hacia abajo. Este valor representa la suma de la radiancia proveniente de todas las direcciones del hemisferio superior.

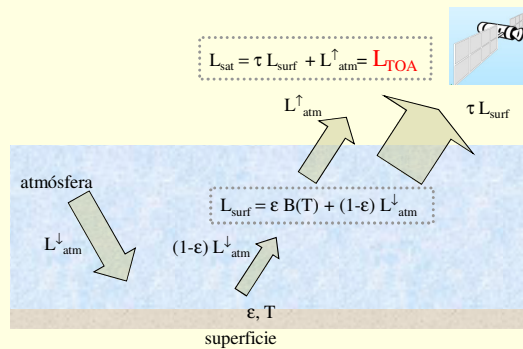
$$L_{\text{atm}}^{\downarrow}(\text{hem}) = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi/2} L_{\text{atm}}^{\downarrow}(\theta') \sin\theta' \cos\theta' d\theta' = L_{\text{atm}}^{\downarrow}(\theta_{\text{eff}}) \approx L_{\text{atm}}^{\downarrow}(53^\circ)$$

$$L_{\text{atm}}^{\downarrow}(\theta') = \int_h^0 B(T_z) \frac{\partial \tau(\theta', h, z)}{\partial z} dz$$

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Radiancia TOA y Temperatura de Brillo



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

$$L_{\text{TOA}} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T_b}\right) - 1 \right]}$$

Temperatura de brillo

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Efecto de la atmósfera y la emisividad

Para analizar el efecto por separado de la atmósfera y la emisividad transformamos la ETR de la forma:

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



$$L_{sat} = B(T) - \Delta I_a - \Delta I_e$$

$$\begin{cases} \Delta I_a = B(T)[(1 - \tau(\theta, h)) - L_{atm}^{\uparrow}(\theta, h)] \\ \Delta I_e = (1 - \varepsilon)\tau(\theta, h)[B(T) - L_{atm}^{\downarrow}(hem)] \end{cases}$$

La emisividad modula tanto la propia emisión de la superficie, como la reflexión que en ésta se produce de la radiancia atmosférica descendente.

Efecto de la atmósfera y la emisividad

Es sencillo obtener una relación entre la temperatura de brillo medida por el satélite y la temperatura de la superficie, mediante la linealización de la función de Planck. Haciendo un desarrollo de Taylor de primer orden:

$$T - T_b = \Delta T_a + \Delta T_e$$

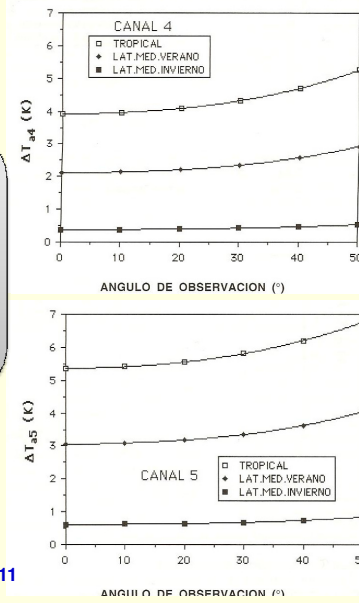
$$\left. \begin{aligned} \Delta T_a &= \frac{\Delta I_a}{\left(\frac{\partial B(T)}{\partial T}\right)_T} \\ \Delta T_e &= \frac{\Delta I_e}{\left(\frac{\partial B(T)}{\partial T}\right)_T} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\Rightarrow \text{Corrección atmosférica debida a la} \\ &\quad \text{atenuación atmosférica} \\ &\Rightarrow \text{Corrección atmosférica debida al} \\ &\quad \text{efecto de la emisividad} \end{aligned}$$

Efecto de la atmósfera y la emisividad

$$T - T_b = \Delta T_a + \Delta T_e$$

• Los valores máximos de la corrección debida a la atmósfera se obtienen con la atmósfera tropical (húmeda y cálida).

• La dependencia angular es despreciable para ángulos menores de 15°.



Ejemplo: Canales 4 y 5 AVHRR del satélite NOAA-11

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

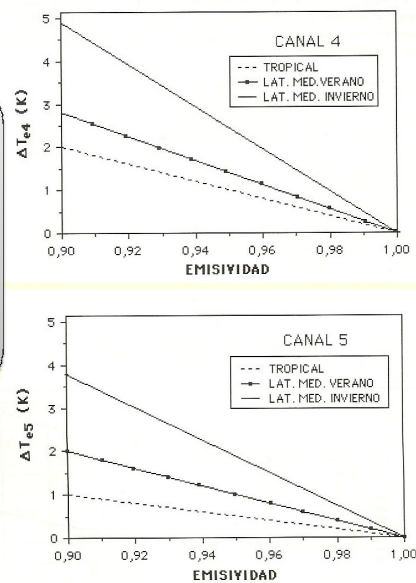
Buenos Aires, Mayo 2012

Efecto de la atmósfera y la emisividad

$$T - T_b = \Delta T_a + \Delta T_e$$

• Los valores mínimos de la corrección debida a la emisividad se obtienen con la atmósfera tropical (húmeda y cálida). Se debe a que la reflexión de la radiación atmosférica compensa en parte la emisión de la superficie.

• El efecto de la emisividad puede ser del mismo orden que la corrección debida a la atenuación cuando la emisividad es baja.



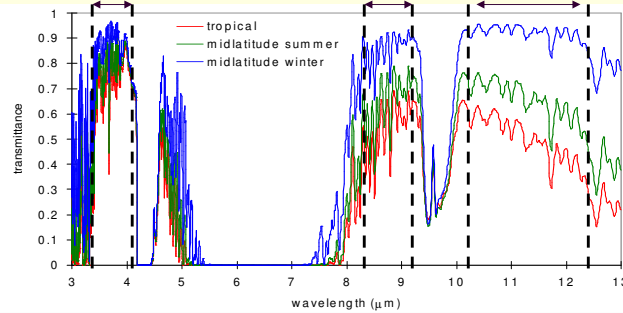
Ejemplo: Canales 4 y 5 AVHRR del satélite NOAA-11

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Métodos de corrección en el IRT

Ventanas atmosféricas



Métodos de corrección

- Métodos monocanales (ecuación de transferencia radiativa)
 - Aplicación a *Landsat*, *Meteosat*, ...
 - Perfiles atmosféricos y modelos de transferencia radiativa
- Métodos de absorción diferencial
 - Aplicación a *NOAA-AVHRR*, *ENVISAT-AATSR*, *TERRA-MODIS*,...
 - Modelos de *split-window* o multicanales; bi-angulares

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Métodos de corrección 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

Ecuación de transferencia radiativa
$$L_{\text{sat}} = [\epsilon B(T) + (1-\epsilon) L_{\text{atm}}^{\downarrow}] \tau + L_{\text{atm}}^{\uparrow}$$

• **Modelos de transferencia radiativa** del Air Force Geophysical Laboratory (AFGL).

Cálculo de la transmisividad y radiancia atmosféricas en todo el espectro

HITRAN: Alta resolución espectral. Atlas de datos de absorción moleculares

LOWTRAN 1-7 (1972-1989): Baja resolución espectral (20 cm^{-1})

MODTRAN 1-4 (1989-actualidad): Moderada resolución espectral ($0,1 \text{ cm}^{-1}$)

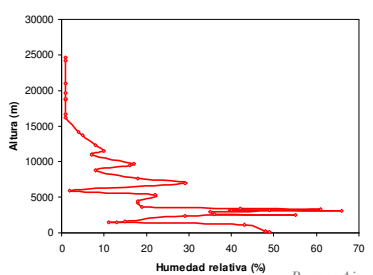
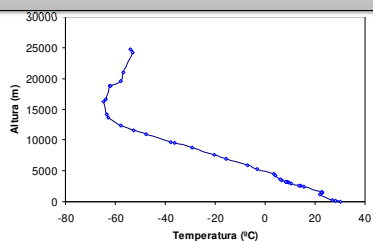
• **Perfiles atmosféricos estándar** (p , T , H_2O , CO_2 , O_3 , ...) o datos de **radiosondeo** introducidos por el usuario. Modelos de aerosoles.

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Métodos de corrección 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



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Métodos de Absorción Diferencial

□ La base es que la atenuación atmosférica de la radiancia terrestre es proporcional a la diferencia entre las medidas de radiancia realizadas en canales térmicos distintos, que estarán sujetos a distinta absorción atmosférica.

Métodos bicanales: dos medidas en canales distintos

a.1) Método split-window: dos canales dentro de la ventana atmosférica 10-12,5 μm .

a.2) Método dual-window: dos canales en distintas ventanas: 3,5-4,1 μm ; 8-9,5 μm ; 10-12,5 μm .

Métodos tricanales: 3 medidas en canales distintos

□ Esta diferente absorción también se puede obtener mediante medidas en un mismo canal pero con dos ángulos de observación distintos. (sensor AATSR: *nadir scan* (0° - $21,6^\circ$), *forward scan* ($52,4$ - 55°)).

VENTAJAS

- No necesitar radiosondeos
- Simplicidad matemática de los algoritmos de corrección

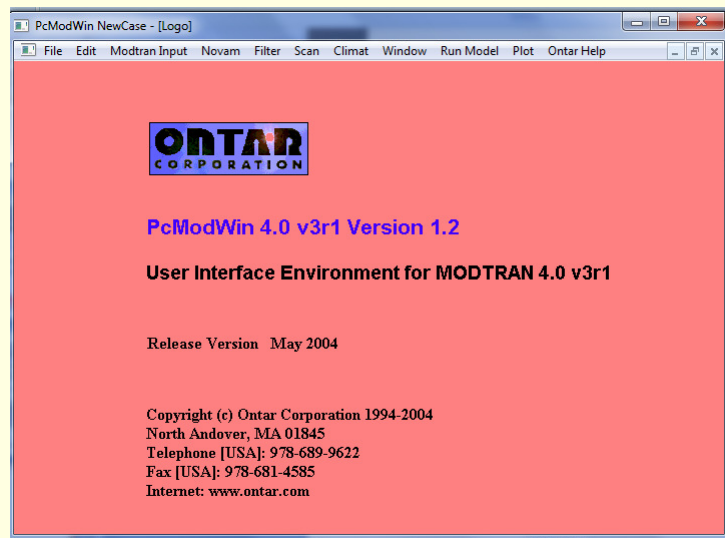
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012



TEMA 5. Introducción a MODTRAN

1. Nociones básicas
2. Geometrías de Trabajo
3. Aerosoles
4. Atmósferas
5. Instalación
6. Primera toma de contacto
7. Barra de Herramientas





Introducción

- ❑ PcModWin es el entorno gráfico en el que implementar, ejecutar y manipular operaciones llevadas a cabo a través del código de transferencia radiativa MODTRAN.
- ❑ MODTRAN permite el cálculo de valores espectrales de transmitancia y radiancia para caminos atmosféricos arbitrarios desde las microondas hasta las bandas del visible.
- ❑ En este curso trabajaremos con la versión 1.2 del PcModWin 4.0 v3r1. Este paquete incluye la versión de MODTRAN 4.0 v3r1. (Año 2003).
- ❑ VENTAJAS, frente a versiones anteriores:
 - Opción de exportar ficheros de salida a Excel.
 - Opción de usar salidas de la herramienta CLIMAT para ajustar las capas más bajas.
- ❑ Compatible con versiones de Windows posteriores a la 95.

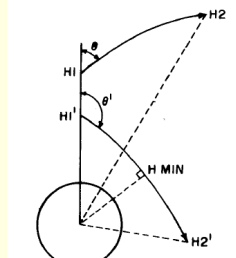


Introducción

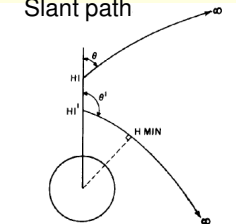
- ❑ Modelo desarrollado a lo largo de los últimos 25 años en el US Air Force Research Laboratory.
- ❑ MODTRAN es un sucesor de la familia de códigos LOWTRAN.
- ❑ Está escrito en FORTRAN 77.
- ❑ Los cálculos de transmisión usan tres parámetros dependientes de la temperatura: un coeficiente de absorción, un parámetro de línea de densidad, y un promedio de ancho de línea.
- ❑ Los cálculos de radiancia consideran contribuciones de las fuentes:
 - La propia emisión atmosférica
 - Radiancia dispersada en el camino solar y/o lunar.
 - Irradiancia solar directa
 - Dispersión múltiple solar y/o de la radiancia emitida por la atmósfera en el camino.
- ❑ El intervalo de frecuencias es de 0-50000 cm^{-1} , y la máxima resolución espectral es de 2 cm^{-1} .

Geometrías

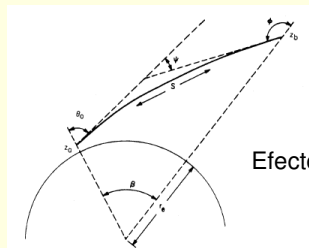
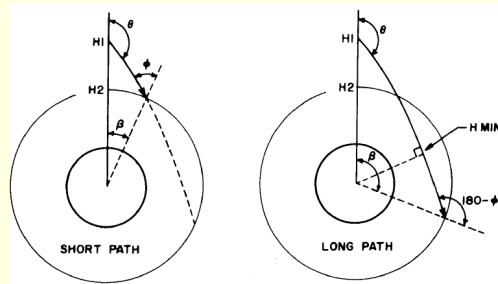
- Acepta hasta 33 niveles atmosféricos, hasta una altura de 100 km.



Slant path



Slant path to Space



Efecto de refracción

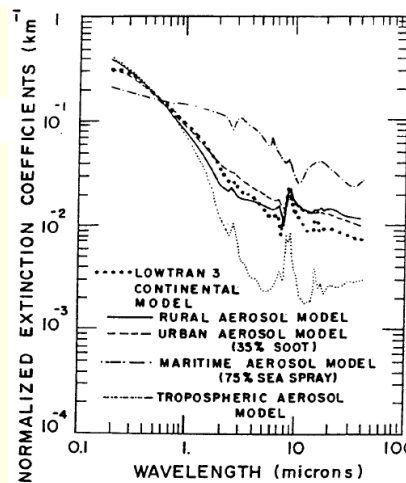
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Aerosoles

- (1) boundary layer aerosols (0 to 2 km)
- (2) upper troposphere aerosols (2 to 10 km)
- (3) lower stratosphere aerosols (10 to 30 km)
- (4) stratospheric (mesospheric) aerosols (30 to 100 km)

$$t(\nu) = \text{EXP} [- \text{EXTV}(\nu) * \text{HAZE} * \text{DS}]$$



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Atmósferas

1976 US Standard Atmosphere
 Tropical Model (15 degrees North)
 Midlatitude Summer (45 degrees North, July)
 Midlatitude Winter (45 degrees North, January)
 Subarctic Summer (60 degrees North, July)
 Subarctic Winter (60 degrees North, January)

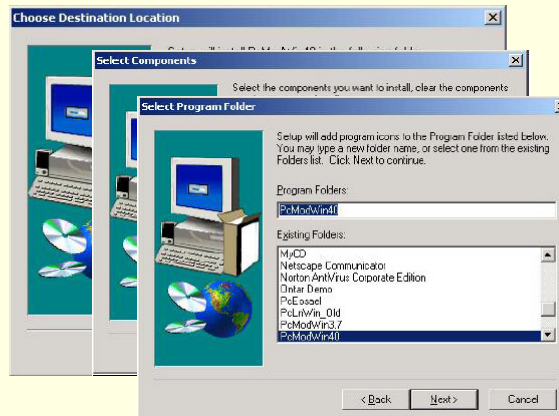
Altitude	Tropical	Midl. Sum	Midl. Win	SBAr Sum	SBAr Win	1976 Std
0	1.01E+03	8.01E+02	1.02E+03	1.01E+03	1.02E+03	1.01E+03
1	9.04E+02	9.02E+02	9.97E+02	8.96E+02	8.88E+02	8.99E+02
2	8.08E+02	8.02E+02	7.90E+02	7.93E+02	7.78E+02	7.95E+02
3	7.13E+02	7.10E+02	6.94E+02	7.00E+02	6.80E+02	7.01E+02
4	6.20E+02	6.20E+02	6.08E+02	6.16E+02	5.98E+02	6.17E+02
5	5.35E+02	5.34E+02	5.31E+02	5.41E+02	5.16E+02	5.41E+02
6	4.52E+02	4.87E+02	4.63E+02	4.74E+02	4.47E+02	4.72E+02
7	4.12E+02	4.12E+02	4.02E+02	4.13E+02	3.95E+02	4.11E+02
8	3.78E+02	3.72E+02	3.47E+02	3.55E+02	3.31E+02	3.57E+02
9	3.29E+02	3.24E+02	2.99E+02	3.11E+02	2.83E+02	3.08E+02
10	2.96E+02	2.81E+02	2.57E+02	2.68E+02	2.42E+02	2.65E+02
11	2.47E+02	2.44E+02	2.20E+02	2.30E+02	2.07E+02	2.27E+02
12	2.13E+02	2.09E+02	1.89E+02	1.99E+02	1.77E+02	1.94E+02
13	1.82E+02	1.79E+02	1.61E+02	1.70E+02	1.51E+02	1.66E+02
14	1.56E+02	1.53E+02	1.38E+02	1.46E+02	1.29E+02	1.42E+02
15	1.30E+02	1.30E+02	1.18E+02	1.26E+02	1.10E+02	1.21E+02
16	1.11E+02	1.11E+02	1.01E+02	1.08E+02	9.43E+01	1.04E+02
17	9.37E+01	9.50E+01	8.61E+01	9.23E+01	8.06E+01	8.85E+01
18	7.99E+01	8.12E+01	7.36E+01	7.99E+01	6.98E+01	7.57E+01
19	6.86E+01	6.98E+01	6.28E+01	6.86E+01	5.98E+01	6.47E+01
20	5.85E+01	5.85E+01	5.37E+01	5.80E+01	5.01E+01	5.53E+01
21	4.90E+01	5.10E+01	4.58E+01	5.07E+01	4.28E+01	4.73E+01
22	4.09E+01	4.37E+01	3.91E+01	4.36E+01	3.65E+01	4.05E+01
23	3.50E+01	3.76E+01	3.34E+01	3.75E+01	3.11E+01	3.47E+01
24	3.00E+01	3.22E+01	2.86E+01	3.23E+01	2.65E+01	2.97E+01
25	2.57E+01	2.77E+01	2.44E+01	2.78E+01	2.26E+01	2.55E+01
26	1.77E+01	1.91E+01	1.65E+01	1.92E+01	1.51E+01	1.74E+01
30	1.22E+01	1.33E+01	1.11E+01	1.34E+01	1.02E+01	1.20E+01
33	8.52E+00	9.30E+00	7.56E+00	9.40E+00	6.91E+00	8.01E+00
35	6.00E+00	6.52E+00	5.18E+00	6.61E+00	4.70E+00	5.75E+00
38	4.29E+00	4.64E+00	3.60E+00	4.72E+00	3.33E+00	4.13E+00
40	3.05E+00	3.33E+00	2.53E+00	3.40E+00	2.24E+00	2.87E+00
43	2.20E+00	2.41E+00	1.80E+00	2.48E+00	1.57E+00	2.08E+00
45	1.59E+00	1.76E+00	1.25E+00	1.82E+00	1.11E+00	1.48E+00
48	1.14E+00	1.23E+00	9.40E-01	1.34E+00	7.90E-01	1.09E+00
50	8.84E-01	9.51E-01	6.83E-01	9.87E-01	5.72E-01	7.98E-01

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Instalación

- Insertar CD-ROM
- Ejecutar SETUP.EXE
- 256 Mb RAM
- 26 Mb disco duro



\bin (ejecutables)
 \usr (casos de muestra y casos de trabajo)
 \novam (código del modelo NOVAM)
 \radiosonde (almacenaje de los radiosondeos descargados de internet)
 \climat (modelo climatológico EOSAEL)
 \documentation (manuales de usuario, referencias, etc.)

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Comprobación y primera toma de contacto

- ☐ Abrir uno de los casos demo.

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Comprobación y primera toma de contacto

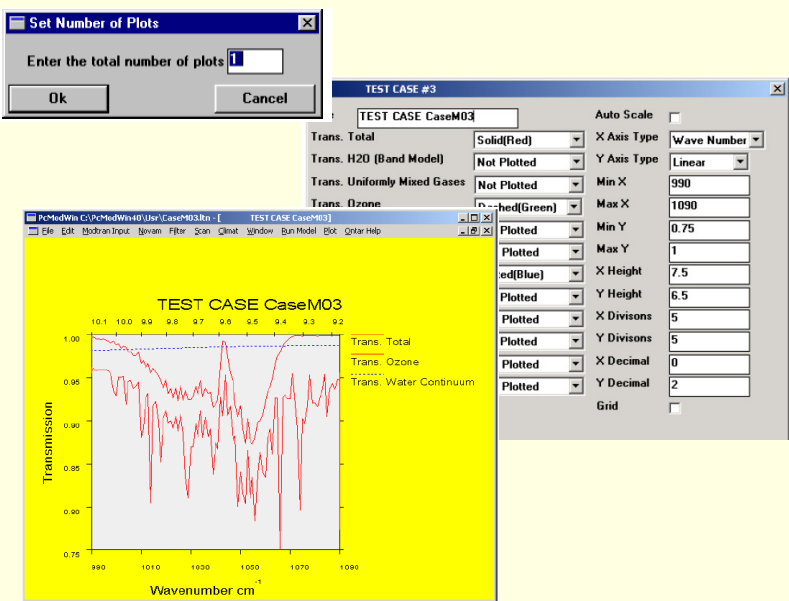
Start	End	Inc
1.2420	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000

Initial Frequency	Final Frequency	Frequency Increment	FWHM of Slit Function
990.0000 (1/cm)	1090.0000 (1/cm)	1.000000 (1/cm)	2.000000 (1/cm)
3.1743119 um	10.101010 um	0.0092670 um	0.0204061 um
9174.3119 nm	10101.010 nm	9.2659917 nm	20.406081 nm

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

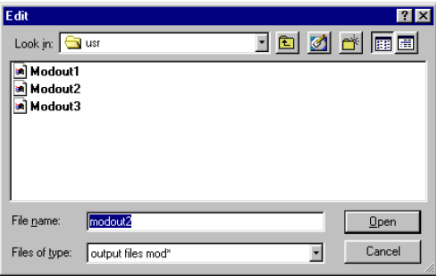
Comprobación y primera toma de contacto



The screenshot displays the MODTRAN software interface. On the left, a vertical satellite image shows a satellite in orbit. The main window is titled 'TEST CASE CaseM03' and shows a plot of Transmission (Y-axis, 0.75 to 1.00) versus Wavenumber cm⁻¹ (X-axis, 990 to 1090). The plot shows three data series: 'Trans. Total' (red line), 'Trans. Ozone' (green line), and 'Trans. Water Continuum' (blue line). To the right of the plot is a configuration panel for 'TEST CASE CaseM03' with various settings for different transmission components. Above the plot is a 'Set Number of Plots' dialog box with the value '1' entered.

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN Buenos Aires, Mayo 2012

Comprobación y primera toma de contacto



The screenshot shows the 'Edit' dialog box in MODTRAN. The 'Look in:' field is set to 'usr'. The file list contains three entries: 'Modout1', 'Modout2', and 'Modout3'. The 'File name:' field is set to 'modout2'. The 'Files of type:' field is set to 'output files mod*'. The 'Open' button is highlighted.

- Modout1 (Tape 6)
 - Descripción completa de los inputs
 - Configuración atmosférica
 - Geometría
 - Todos los outputs
- Modout2 (Tape 7)
 - Resumen de los inputs
 - Versión reducida de los outputs
- Modout3 (Tape 8)
 - Solo salidas, si se permite.

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN Buenos Aires, Mayo 2012

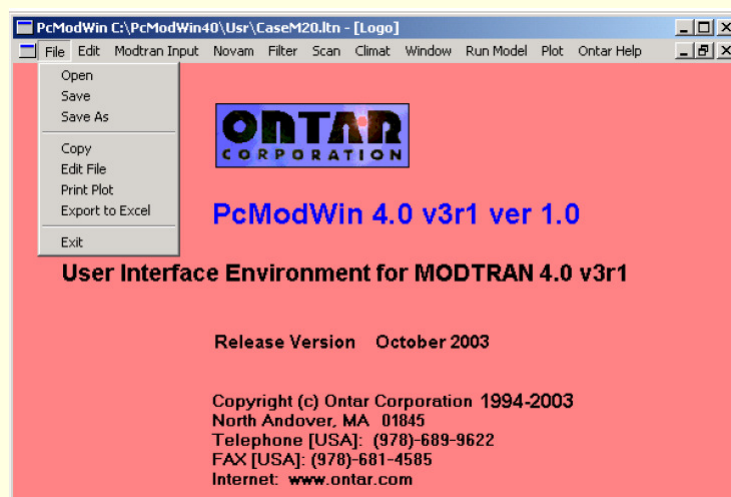
Casos TEST incluidos

	Atm ¹	Path ²	Mode ³	Band ⁴	Comment
CaseM01	US	SP	R w/s	Vis	illustrates multiple scattering
CaseM01a	US	SP	R w/s	Vis	illustrates surface albedo
CaseM01b	US	SP	R w/s	Vis	illustrates the effect of turning off multiple scattering
CaseM02a	MdSum	SPS	R	8-13	slant path to space
CaseM02b	Mdsum	SPS	R	8-13	slant path to ground to space
CaseM03	US	SP	Tran	9-10	uses the elevated surface option
CaseM04	US	SPS	DSI	NIR	direct solar irradiance
CaseM05	US	SP	Trans	9-10	uses the volcanic aerosol option
CaseM06	Trop	SP	Trans	9-11	Subvisual Cirrus Aerosol option
CaseM07	Trop	Hor	Trans	9-11	Navy Maritime aerosol option
CaseM08	MDH	Hor	Trans	8-11	User Supplied Atmosphere
CaseM09	US	SP	Trans	8-11	uses Army vertical structure algorithm
CaseM10	US	SP	Trans	100-2000	uses the cumulus cloud option
CaseM11	US	SP	Trans	100-2000	same as 10, but also uses the elevated surface option
CaseM12	NMA	SP	Trans	9-10	uses New Model Atmosphere option
CaseM13	US	SP	Trans	9-10	uses the desert aerosol option
CaseM14	MDH	Hor	R w/s	4.6-4.7	Includes CFC profile
CaseM15	ArcS	SP	Trans	3-4	Uses A+ aerosol card and User Supplied Aerosol
CaseM16	US	SP	R w/s	4.6-4.9	uses the user-defined aerosol function
CaseM16a	US	SP	R w/s	4.6-4.9	uses the MODTRAN correlation-k option
CaseM17	Msum	SP	R w/s	1.5-2.5	demonstrates use of the multiple scattering option along a slant path through a cumulus cloud
CaseM17a	Trop	SP	R s/w	0.8-2.4	uses multiple scattering and surface albedo
CaseM18	NMA	SPS	TR	4-10000	Use New Model Atmosphere option
CaseM19	US	SP	R s/w	0.3-0.7	Multiple scattering and standard cirrus profile
CaseM20	Msum	SPS	R s/w	3.99-4.0	Illustrates Surface Spectral Reflectance
CaseM21	US	SP	R s/w	0.499-0.5005	Effect of Surface Albedo on short path
CaseM22	US	Hor	Trans	0.3-1.0	Uses of outputs from NOVAM

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Barra de Herramientas



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012



Barra de Herramientas

File		
Open		<i>load a PcModWin database file</i>
Save		<i>save current inputs away to current database file</i>
Save As		<i>save current inputs to a PcModWin database file</i>
Copy		<i>copy current plot to Windows clipboard</i>
Edit File		<i>run a DOS editor to view a file</i>
Print Plot		<i>print current plot</i>
Exit		<i>exit PcModWin software</i>
Edit		
Edit Plot		<i>edit inputs to an existing plot</i>
Edit File		<i>run a DOS editor to view a file</i>
Edit Run		<i>switch to a different run in inputs (in batch mode)</i>
Delete Run		<i>remove a MODTRAN run (in batch mode)</i>
Append New Run		<i>add a new MODTRAN run (in batch mode)</i>



Barra de Herramientas

Modtran Input		
Open		<i>load a PcModWin database file</i>
Save As		<i>save current inputs to a PcModWin database file</i>
Model Atmosphere (1)		<i>run type, atm profile</i>
Atm Column Params and Files		<i>column density adjustments, filenames</i>
Multiple Scattering		<i>select multiple scattering options</i>
Surface at Start of Path		<i>set boundary temperature and surface albedo</i>
Solar Irradiance		<i>solar source function</i>
Aerosols (2)		<i>aerosols main input screen</i>
Card A+		<i>aerosol inputs</i>
Clouds (2A)		<i>cloud or cirrus configuration</i>
User Supplied Cloud Profile (2E1)		<i>cloud profiles</i>
User Supplied Cloud Spectral Data (2E2)		<i>user specified extinction/absorption</i>
VSA Cloud (2B)		<i>ARMY VSA option</i>
New Model Atmosphere (2C)		<i>user defined atmosphere profile</i>
User Supplied Profile (2C1)		<i>individual atmosphere layer inputs</i>
User Supplied Aerosols (2D)		<i>user specified aerosols</i>
User Supplied Extinction (2D2)		<i>user specified aerosol extinction/absorption</i>
Geometry and Spectral Band (3)		<i>geometry and spectral band</i>
Solar/Lunar Irradiance (3A)		<i>solar scattering (trans solar irrad)</i>
Solar/Lunar Geometry (3A1)		<i>solar scattering</i>
Phase Function (3B/3C1-3C6)		<i>user specified aerosol scattering</i>
Surface Spectral Reflectance		<i>inputs for BRDF and Lambertian surfaces</i>
Plot Cards		<i>plotting inputs</i>



Barra de Herramientas

Novam Input		
Open Novam Param		<i>load NOVAM parameter database file</i>
Save Novam Param		<i>save NOVAM inputs to database file</i>
Novam Parameters		<i>primary screen of NOVAM inputs</i>
Novam Table		<i>vertical profile definition for NOVAM</i>
Run Novam		<i>execute NOVAM with current inputs</i>
Plot Novam Output		<i>plot NOVAM results</i>
Filter		
Open		<i>load database file with filter inputs</i>
Save		<i>save filter inputs to database file</i>
Filter Options		<i>access first screen of filter inputs</i>
Filter Values		<i>access second screen of filter inputs</i>
Run Filter		<i>execute filter function</i>
Scan		
Open		<i>load database file with scan inputs</i>
Save		<i>save scan inputs to database file</i>
Inputs Screen		<i>jump to input screen with scan inputs</i>
Run Scan		<i>execute scanning function</i>
Climat		
Open		<i>load Climat inputs from database (*.cli)</i>
Save		<i>save Climat inputs to database (*.cli)</i>
Climat Input Screen		<i>set inputs for Climat mode</i>
Run Climat		<i>run Climat model</i>
View Climat Results		<i>view outputs of Climat model</i>

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012



Barra de Herramientas

Novam Input		
Open Novam Param		<i>load NOVAM parameter database file</i>
Save Novam Param		<i>save NOVAM inputs to database file</i>
Novam Parameters		<i>primary screen of NOVAM inputs</i>
Novam Table		<i>vertical profile definition for NOVAM</i>
Run Novam		<i>execute NOVAM with current inputs</i>
Plot Novam Output		<i>plot NOVAM results</i>
Filter		
Open		<i>load database file with filter inputs</i>
Save		<i>save filter inputs to database file</i>
Filter Options		<i>access first screen of filter inputs</i>
Filter Values		<i>access second screen of filter inputs</i>
Run Filter		<i>execute filter function</i>
Scan		
Open		<i>load database file with scan inputs</i>
Save		<i>save scan inputs to database file</i>
Inputs Screen		<i>jump to input screen with scan inputs</i>
Run Scan		<i>execute scanning function</i>
Climat		
Open		<i>load Climat inputs from database (*.cli)</i>
Save		<i>save Climat inputs to database (*.cli)</i>
Climat Input Screen		<i>set inputs for Climat mode</i>
Run Climat		<i>run Climat model</i>
View Climat Results		<i>view outputs of Climat model</i>

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Barra de Herramientas

Run Model

Run MODTRAN *run MODTRAN model*

Plot

Database *create plots with database inputs*
Interactive *define a plot interactively and create it*
Multiple Files *plot multiple output files simultaneously*
Difference Plot *plot difference of two MODTRAN calculations*
Plot Spec Flux *plot spectral flux results*
Edit Plot *edit inputs to an existing plot*

Help

Ontar Home *Internet link to Ontar home page*
Technical Support *link to support page on Ontar web site*
Contents *launch PcModWin help file*
Manual *display PcModWin PDF manual (Acrobat Reader req.)*
Documentation *display roadmap to PDF MODTRAN documentation*
About *display version number of software*

TEMA 5. Inputs, Outputs y Plots (Aprendizaje Basado en Casos Prácticos)

1. Inputs (MODIN)
2. Outputs (MODOUTs y otros)
3. Exportación a Excel
4. Representaciones Gráficas



➤ MODTRAN lee el archivo ASCII MODIN (tape5)

Este es el archivo que hay que modificar cuando se quiera hacer programación

➤ Se ejecuta en DOS la orden Mod4v3r1.exe, y se genera:

MODOUT1 o TAPE6

MODOUT2 o Tape7

MODOUT3 o Tape8

Estos archivos se sobrescriben después de cada ejecución de MODTRAN, por ello es importante cambiarlos de nombre si se quieren conservar.

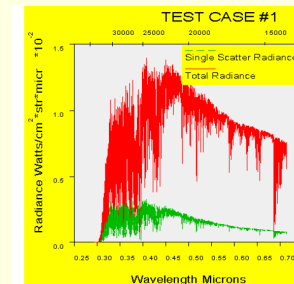
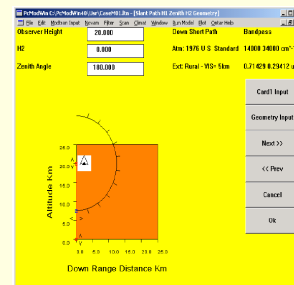


Dispersión múltiple

Ejercicio 1

- Obtener:** radiancia de camino ascendente
- Observador:** 20 km de altura
- Dirección:** Vertical
- Atmósfera:** 1976 US Standard
- Aerosoles:** modelo Rural
- Intervalo espectral:** 14000-34000 cm^{-1}
- Muestreo:** 20 cm^{-1}
- Dispersión múltiple:** Si

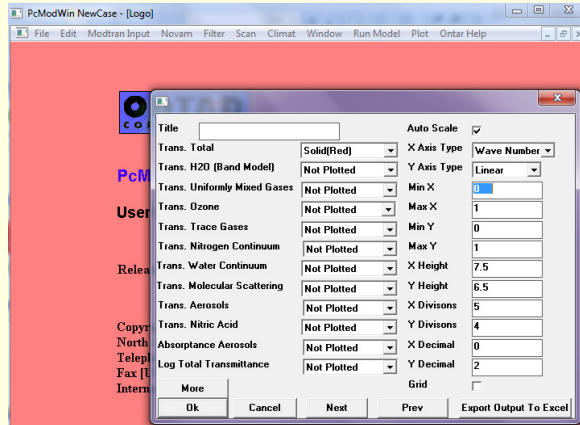
- 1) Analizar el tape5, tape 6 y tape 7
- 2) Variar alguna entrada y ver el efecto en los códigos del tape5, y salidas tape 6 y tape 7
- 3) Graficar la radiancia dispersada + la radiancia total
- 4) Graficar la transmisividad



Opciones de Plot

Con el gráfico anterior modificar:

- Estilos de líneas y colores
- Escala de los ejes
- Unidades de los ejes
- Grids, etc.



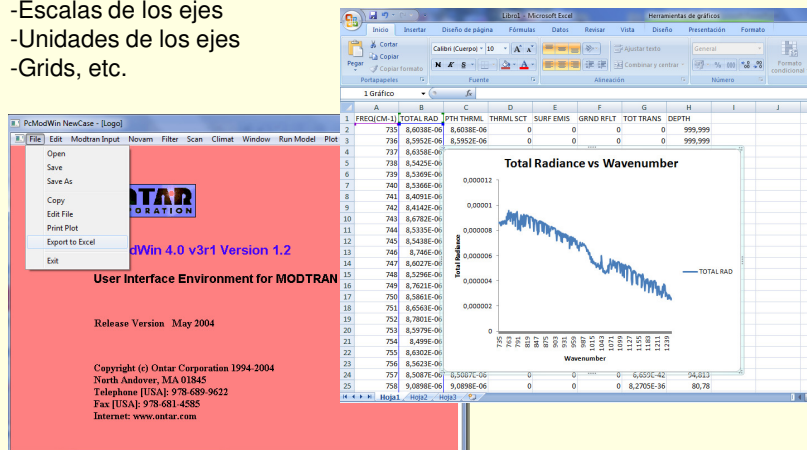
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Exportación a Excel

Con el gráfico anterior modificar (ahora en Excel):

- Estilos de líneas y colores
- Escala de los ejes
- Unidades de los ejes
- Grids, etc.



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

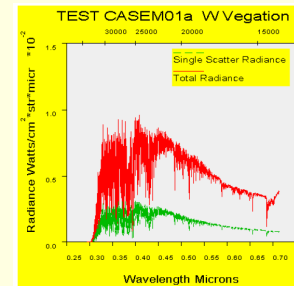
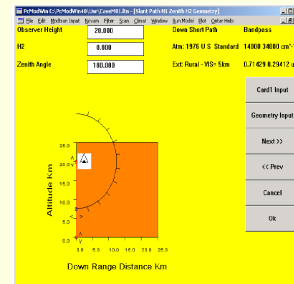
Buenos Aires, Mayo 2012

Albedo

Ejercicio 1

- Albedo: forest
- Temperatura en primera capa: 1K (no incluir fuente térmica al final del camino)

- 1) Analizar el tape5, tape 6 y tape 7
- 2) Variar alguna entrada y ver el efecto en los códigos del tape5, y salidas tape 6 y tape 7
- 3) Graficar la radiancia dispersada + la radiancia total
- 4) Graficar la transmisividad



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

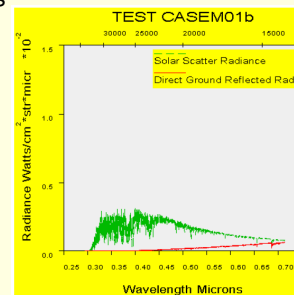
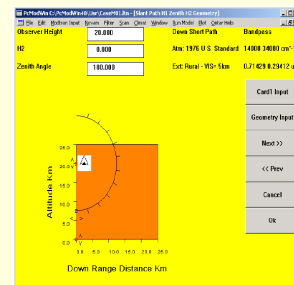
Buenos Aires, Mayo 2012

Dispersión simple

Ejercicio 1

- Dispersión múltiple: No

- 1) Analizar el tape5, tape 6 y tape 7
- 2) Graficar la radiancia dispersada solar + la radiancia reflejada por el suelo directa
- 3) Analizar el efecto de la dispersión múltiple en los distintos outputs



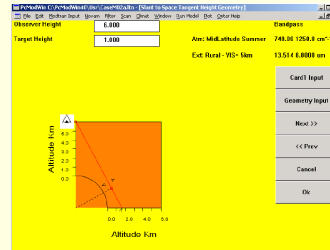
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

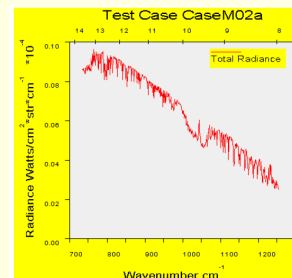
Altura tangente

Ejercicio 2

- Obtener:** radiancia de camino ascendente
- Observador:** 6 km de altura
- Dirección:** altura tangente 1 km
- Atmósfera:** 1976 US Standard
- Aerosoles:** modelo Rural
- Intervalo espectral:** 740-1250 cm^{-1}
- Muestreo:** 20 cm^{-1}
- Dispersión múltipe:** Si



- 1) Analizar el tape5, tape 6 y tape 7
- 2) Variar alguna entrada y ver el efecto en los códigos del tape5, y salidas tape 6 y tape 7
- 3) Graficar la radiancia total

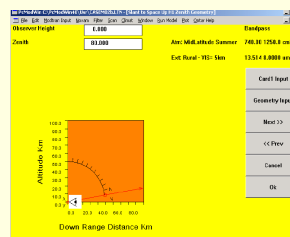


Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

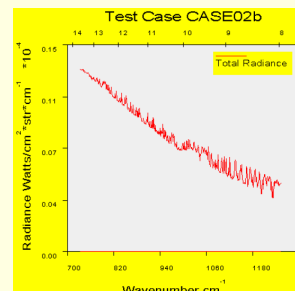
Buenos Aires, Mayo 2012

Ejercicio 2

- Obtener:** radiancia de camino descendente
- Observador:** en superficie
- Dirección:** 80°



- 1) Graficar la radiancia total
- 2) Analiza las diferencias en términos de radiancia



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

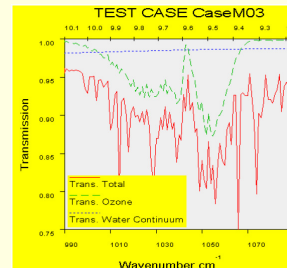
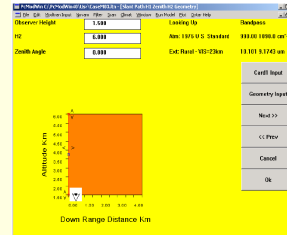
Buenos Aires, Mayo 2012

Superficie elevada

Ejercicio 3

- Obtener:** transmisividad descendente
- Observador:** 1.5 km de altura
- Dirección:** vertical hasta 6 km
- Atmósfera:** 1976 US Standard
- Aerosoles:** modelo Rural
- Intervalo espectral:** 990-1090 cm^{-1}
- Muestreo:** 1 cm^{-1}
- Dispersión múltipe:** Si

- 1) Analizar en el tape7 las diferencias en términos de la cantidad de aerosoles
- 2) Graficar la transmisividad total, la debida al ozono y al agua



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

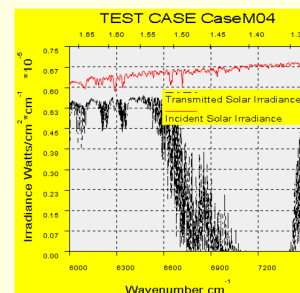
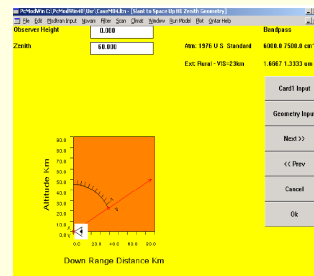
Buenos Aires, Mayo 2012

Irradiancia solar directa

Ejercicio 4

- Obtener:** irradiancia solar
- Observador:** en superficie
- Dirección:** 60°
- DOY:** 15 marzo (74)
- Atmósfera:** 1976 US Standard
- Aerosoles:** modelo Rural
- Intervalo espectral:** 6000-7500 cm^{-1}
- Muestreo:** 2 cm^{-1}

- 1) Analizar el tape5, tape 6 y tape 7
- 2) Graficar la irradiancia solar incidente y transmitida



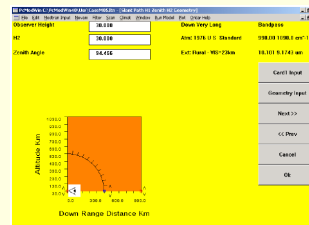
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

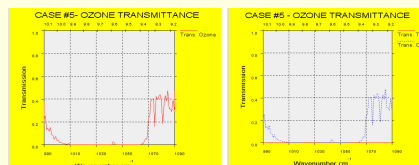
Aerosoles (volcánicos)

Ejercicio 5

- Obtener: transmisividad
- Observador: a 30 km
- Dirección: horizontal
- Atmósfera: 1976 US Standard
- Aerosoles: volcánicos
- Intervalo espectral: 990-1090 cm^{-1}
- Muestreo: 2 cm^{-1}



- 1) Analizar en el tape6 el cálculo del camino refractado a través de la atmósfera
- 2) Graficar la transmisividad total y la del Ozono (tiene un papel importante en este camino)



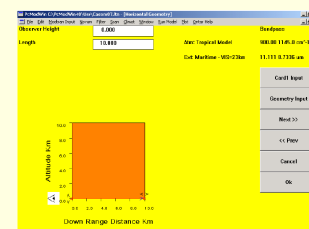
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

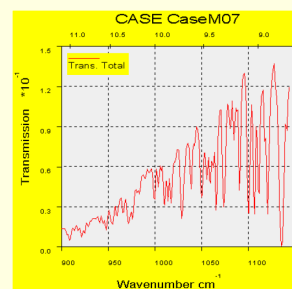
Aerosoles (marítimos)

Ejercicio 5

- Observador: en superficie
- Dirección: horizontal, 10km
- Aerosoles: Navy Maritime



- 1) Observar como se activan las opciones para introducir velocidad de viento.
- 2) Graficar la transmisividad total. Observar que es bastante baja
- 3) Comparar con el mismo camino, pero sobre tierra



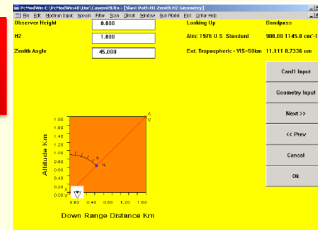
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

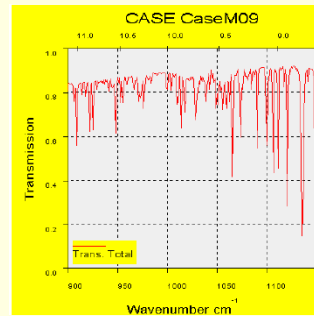
Aerosoles (VSA)

Ejercicio 5

- Observador: en superficie
- Dirección: ascendente, 45°
- Aerosoles: Army Vertical Structure AI. (VSA)



- 1) Analizar estos inputs en el tape6.
- 2) Graficar la transmisividad total.
- 3) Repetir con la opción Desert Extinction
- 4) Estudiar la opción A+ de redefinir los límites de las distintas capas.



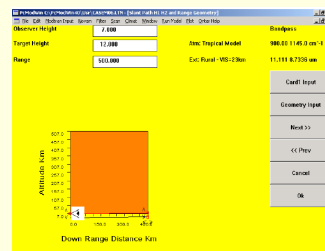
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

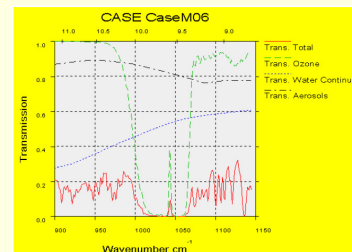
Cirros, Cumulus...

Ejercicio 6

- Obtener: transmisividad
- Observador: a 7 km
- Dirección: hasta 12km, con un path length de 500 km (casi horizontal)
- Atmósfera: 1976 US Standard
- Aerosoles: Subvisual cirrus, Cumulus,...
- Intervalo espectral: 900-1145 cm^{-1}
- Muestreo: 2 cm^{-1}



- 1) Analizar en el tape7 los valores por defecto de altitud de la base, espesor, o el coeficiente de extinción de las nubes
- 2) Estudiar el efecto de modificar algunos de esos parámetros
- 3) Graficar la transmisividad total, la del Ozono, Agua y Aerosoles.



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

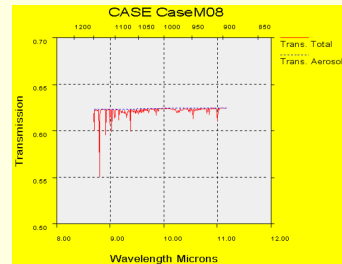


LLuvia

Ejercicio 7

- Obtener:** transmisividad
- Observador:** a nivel del mar
- Dirección:** horizontal con un path length de 300 m
- Atmósfera:** Met Data (solo un nivel)
- Aerosoles:** Lluvia ligera, 10 mm/h
- Intervalo espectral:** 8.7-11.1 microm.

- 1) Analizar en el tape6 los valores correspondientes al efecto de la lluvia
- 2) Estudiar el efecto de modificar la intensidad de la lluvia
- 3) Graficar la transmisividad total y la de los aerosoles.



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

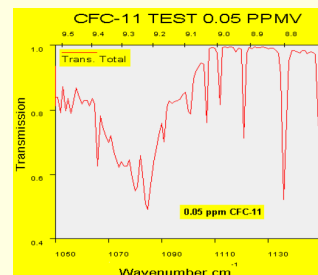
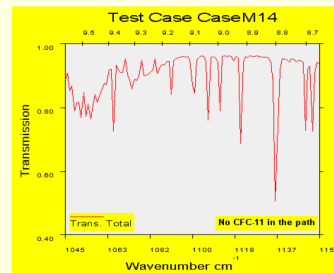


Perfil de Gases y CFCs

Ejercicio 8

- Obtener:** transmisividad
- Observador:** a 1km
- Dirección:** hasta 5km, con 45°
- Atmósfera:** New model atmosphere
- Intervalo espectral:** 1050-1150 cm⁻¹.

- 1) Graficar la transmisividad total.
- 2) Analizar el efecto de incluir o no una concentración de 0.05 ppm de CFC-11, por ejemplo.



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

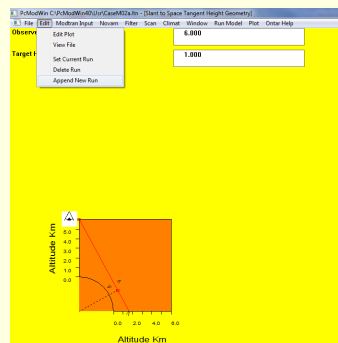
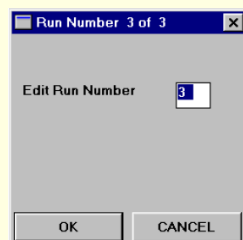


TEMA 6. Opciones avanzadas de MODTRAN (Aprendizaje Basado en Casos Prácticos)

1. Ejecución en batería
2. Filtrado. Magnitudes de Canal
3. Implementado de Radiosondeos
4. Modulos NOVAM y CLIMAT
5. Programación en MODTRAN

Ejecución en batería

- PcModwin 4.0 permite hacer hasta un máximo de **10 ejecuciones** al mismo tiempo.
- Los outputs incluyen los resultados para cada una de las ejecuciones efectuadas.
- La opción "Export to Excel" solamente permite exportar los resultados de la primera ejecución. Por tanto conviene importar en Excel de forma manual si se desea.



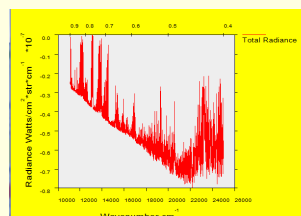
Efecto del Albedo

Ejercicio 9

- Obtener:** radiancia de camino descendente
- Observador:** en superficie
- Dirección:** Vertical
- Atmósfera:** 1976 US Standard
- Aerosoles:** modelo Rural
- Intervalo espectral:** 0.4-0.9 microm

- **Número de Ejecuciones:** 2
- **Parámetro a variar:** Valor del Albedo

- 1) Analizar el tape5, tape 6 y tape 7
- 2) Graficar la radiancia total de ambas ejecuciones
- 3) Graficar la diferencia entre ejecuciones



Efecto de la Atmósfera

Ejercicio 10

- Obtener:** transmisividad
- Observador:** 2 km altura
- Dirección:** Vertical
- Aerosoles:** modelo Rural
- Intervalo espectral:** 8-14 microm

- **Número de Ejecuciones:** 3
- **Parámetro a variar:** Atmósfera tipo

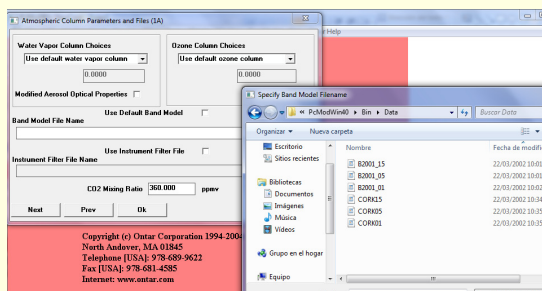
- 1) Analizar el tape5, tape 6 y tape 7
- 2) Graficar la transmisividad de todas las ejecuciones
- 3) Graficar la diferencia entre ejecuciones

Efecto del modelo de Banda

Ejercicio 10

- Obtener: transmisividad
- Observador: 2 km altura
- Dirección: Vertical
- Aerosoles: modelo Rural
- Intervalo espectral: 8-14 microm

- Número de Ejecuciones: 2
- Parámetro a variar: Modelo de Banda

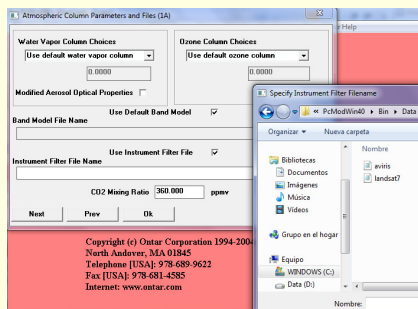


Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Funciones Filtro

- Para obtener magnitudes de canal se puede utilizar una función filtro insertada en su formato adecuado.
- Se genera una nueva salida, CHANNELS, en la que se tabulan los resultados integrados al canal especificado.
- Solo aparecerán aquellos resultados que caen dentro de algunas de las bandas existentes.
- La alternativa sería programarse el filtrado con Matlab, Visual Basic, etc.



Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

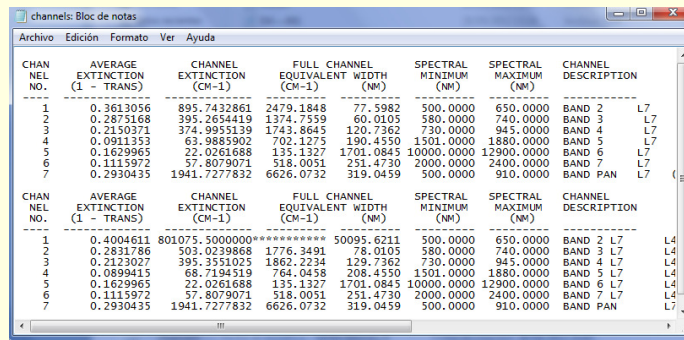
Buenos Aires, Mayo 2012

Funciones Filtro

Ejercicio 11

- Obtener:** transmisividad para los canales de Landsat
- Observador:** en superficie
- Dirección:** Vertical
- Atmósfera:** cualquiera estandar
- Intervalo espectral:** 0.2-15 microm

- **Número de Ejecuciones:** 2
- **Parámetro a variar:** cualquiera



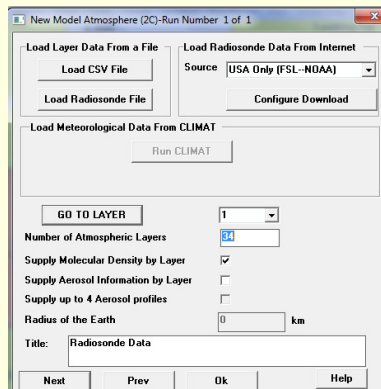
CHAN NEL No.	AVERAGE EXTINCTION (L - TRANS)	CHANNEL EXTINCTION (CM-1)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (NM)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
1	0.3613056	895.7432861	2479.1848	77.5982	500.0000	BAND 2 L7
2	0.2875168	395.2634419	1374.7559	60.0105	580.0000	BAND 3 L7
3	0.2150371	374.9955139	1743.8645	120.7362	730.0000	BAND 4 L7
4	0.0911353	63.9885902	702.1275	190.4550	1501.0000	BAND 5 L7
5	0.1629965	22.0261688	135.1327	1701.0845	10000.0000	BAND 6 L7
6	0.1115972	57.8079071	518.0051	251.4730	2000.0000	BAND 7 L7
7	0.2930435	1941.7277832	6626.0732	319.0459	500.0000	BAND PAN L7

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Implementado de Radiosondeos

- Cuando no se dispone de un radiosondeo local es una buena opción recurrir a las bases de radiosondeos universales.
- Una posibilidad muy interesante es recurrir al Atmospheric Correction Tool de Barsi para obtener directamente el archivo Tape5 que contiene el radiosondeo extrapolado para la zona, fecha y hora de interés, a partir de la base de datos NCEP.



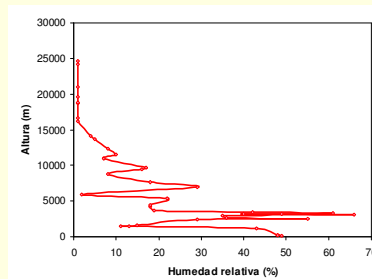
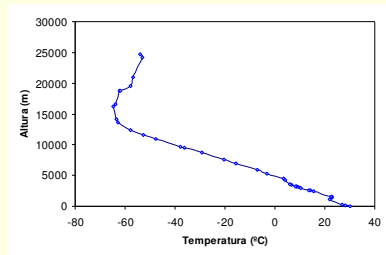
Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

Implementado de Radiosondeos

Ejercicio 12

- ❑ Descargar con PcModwin un radiosondeo de la base de datos de la Universidad de Wyoming
- ❑ Compararlo con el descargado directamente de la página web
- ❑ Aprender a hacer una buena selección de los 30 niveles necesarios para la opción New Model Atmosphere (en base a temperaturas y contenido en vapor de agua)

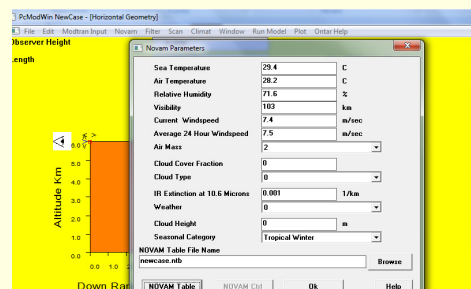


Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

MODULO NOVAM

- NOVAM es un código de aerosoles desarrollado por el Ocean and Atmospheric Sciences Division
- Predice la distribución vertical de aerosoles en los primeros 6000m sobre el oceano.
- Es una mejora al modelo de aerosoles marítimo
- Al ejecutar NOVAM se genera un fichero "novam" que se carga en MODTRAN si se activa su casilla en la carta de aerosoles.
- Se pueden sacar gráficos

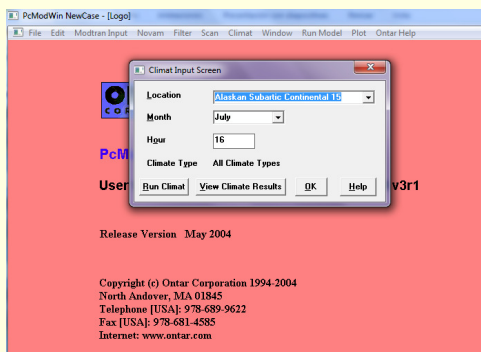


Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

MODULO CLIMAT

- CLIMAT es parte de la familia de modelos EOSAEL desarrollados por el Army Research Laboratories.
- Contiene estadísticos sobre 22 tipos diferentes de meteorologías superficiales.
- CLIMAT es útil cuando se quiere trabajar con un conjunto de condiciones extremas



Programación con MODTRAN

- Cuando se quiere automatizar MODTRAN más allá de lo que permite el modo de ejecución en batería, hay que recurrir a la programación.
- El programa debe:
 - Abrir y leer el archivo TAPE5
 - Modificarlo convenientemente
 - Guardarlo sin que se haya alterado su estructura
 - Ejecutar MODTRAN
 - Abrir y leer las salidas TAPE6, TAPE7, CHANNELS, etc..
 - Extraer la información deseada.

Programación con MODTRAN

Curso de corrección atmosférica con MODTRAN

Buenos Aires, Mayo 2012

PRÁCTICA 1: Corrección atmosférica en onda corta

Se dispone de una imagen del sensor Landsat7-ETM+ de la región italiana de La Basilicata, correspondiente al 26 de mayo de 2004. Haciendo uso del radiosondeo local más próximo en espacio y tiempo, realizar la corrección atmosférica de los canales de onda corta de dicha imagen, y obtener los valores de reflectividad de la superficie.

- Comparar las reflectividades TOA con las reflectividades de superficie
- Calcular el valor de NDVI con y sin corrección, y compararlos
- Calcular el albedo con y sin corrección, y compararlos
- Repetir la experiencia y analizar diferencias al modificar:
 - Tipo de atmósfera
 - Modelo de aerosoles
 - Sin usar el filtro de Landsat
 - Otros

1- Estimación de la Irradiancia solar directa transmitida

CHAN NEL NO.	TRANSMITTED IRRADIANCE (W CM-2 / XXXX) (PER CM-1)	SPECTRAL SOLAR RADIANCE (PER NM)	TRANSMITTED SOLAR IRRAD. (W CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
1	2.072594E-06	9.097744E-05	6.114047E-03	2949.9492	67.2040	410.0000	BAND 1
2	3.046588E-06	9.733541E-05	7.533054E-03	2479.1848	77.5982	500.0000	BAND 2
3	4.137618E-06	9.478701E-05	5.688215E-03	1374.7559	60.0105	580.0000	BAND 3
4	4.969055E-06	7.177101E-05	8.665359E-03	1743.8645	120.7362	730.0000	BAND 4
5	5.156908E-06	1.901135E-05	3.620807E-03	702.1275	190.4550	1501.0000	BAND 5
6	1.057022E-07	8.396893E-09	1.428382E-05	135.1327	1701.0845	10000.0000	BAND 6
7	3.221356E-06	6.635619E-06	1.668679E-03	518.0051	251.4730	2000.0000	BAND 7
8	4.017533E-06	8.343774E-05	2.662047E-02	6626.0732	319.0459	500.0000	BAND PAN

2- Estimación de la Irradiancia solar difusa en superficie

CHAN NEL NO.	SPECTRAL RADIANCE (W SR-1 CM-2 / XXXX) (PER CM-1)	RADIANCE (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
1	2.110631E-07	9.264707E-06	6.226253E-04	2949.9492	67.2040	410.0000	BAND 1 L7
2	2.106867E-07	6.731228E-06	5.223313E-04	2479.1848	77.5982	500.0000	BAND 2 L7
3	1.971751E-07	4.517005E-06	2.710677E-04	1374.7559	60.0105	580.0000	BAND 3 L7
4	1.441039E-07	2.081378E-06	2.512976E-04	1743.8645	120.7362	730.0000	BAND 4 L7
5	3.220363E-08	1.187213E-07	2.261106E-05	702.1275	190.4550	1501.0000	BAND 5 L7
6	3.784825E-06	3.006634E-07	5.114538E-04	135.1327	1701.0845	10000.0000	BAND 6 L7
7	1.016513E-08	2.093898E-08	5.265589E-06	518.0051	251.4730	2000.0000	BAND 7 L7
8	1.810608E-07	3.760344E-06	1.199722E-03	6626.0732	319.0459	500.0000	BAND PAN L7

* Nota: una posibilidad es suponer comportamiento Lambertiano de la atmósfera y multiplicar los valores por pi. Otra opción es repetir procesado para varios ángulos e integrar

3- Estimación de la Transmisividad para el ángulo de observación del sensor

CHAN NEL NO.	AVERAGE EXTINCTION (1 - TRANS)	CHANNEL EXTINCTION (CM-1)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
1	0.4290446	1265.6599121	2949.9492	67.2040	410.0000	BAND 1 L7
2	0.3629465	899.8113403	2479.1848	77.5982	500.0000	BAND 2 L7
3	0.2905377	399.4183350	1374.7559	60.0105	580.0000	BAND 3 L7
4	0.2313555	403.4526978	1743.8645	120.7362	730.0000	BAND 4 L7
5	0.1043064	73.2363739	702.1275	190.4550	1501.0000	BAND 5 L7
6	0.3787373	51.1798096	135.1327	1701.0845	10000.0000	BAND 6 L7
7	0.1316263	68.1830978	518.0051	251.4730	2000.0000	BAND 7 L7
8	0.3022647	2002.8280029	6626.0732	319.0459	500.0000	BAND PAN L7

4- Estimación de la Radiancia Ascendente para el ángulo de observación del sensor

CHAN NEL NO.	SPECTRAL RADIANCE (W SR-1 CM-2 / XXXX) (PER CM-1)	RADIANCE (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
1	1.421493E-07	6.239708E-06	4.193333E-04	2949.9492	67.2040	410.0000	BAND 1 L7
2	1.359437E-07	4.343263E-06	3.370295E-04	2479.1848	77.5982	500.0000	BAND 2 L7
3	1.253539E-07	2.871682E-06	1.723311E-04	1374.7559	60.0105	580.0000	BAND 3 L7
4	9.296218E-08	1.342708E-06	1.621134E-04	1743.8645	120.7362	730.0000	BAND 4 L7
5	2.384051E-08	8.788994E-08	1.673008E-05	702.1275	190.4550	1501.0000	BAND 5 L7
6	1.035533E-05	8.226185E-07	1.399344E-03	135.1327	1701.0845	10000.0000	BAND 6 L7
7	8.911528E-09	1.835671E-08	4.616217E-06	518.0051	251.4730	2000.0000	BAND 7 L7
8	1.166684E-07	2.423017E-06	7.730536E-04	6626.0732	319.0459	500.0000	BAND PAN L7



5- Aplicación de la ETR en onda corta con los parámetros anteriores, y estimación de reflectividades en superficie.

$$L_i = \frac{1}{\pi} \rho \tau_{\theta_v} (E_i \tau_{\theta_s} \cos \theta_s + E_d) + L_p$$

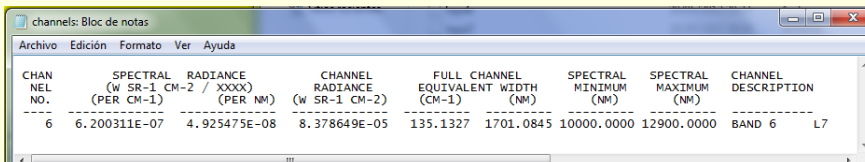


PRÁCTICA 2: Corrección atmosférica en onda larga

Se dispone de una imagen del sensor Landsat7-ETM+ de la región italiana de La Basilicata, correspondiente al 26 de mayo de 2004. Haciendo uso del radiosondeo local más próximo en espacio y tiempo, realizar la corrección atmosférica del canal térmico de dicha imagen, y obtener el valor de radiancia en superficie.

- Comparar las radiancias TOA con las radiancias de superficie
- Comparar las temperaturas de brillo y las temperaturas de superficie
- Repetir la experiencia y analizar diferencias al modificar:
 - Tipo de atmósfera
 - Modelo de aerosoles
 - Sin usar el filtro de Landsat
 - Otros

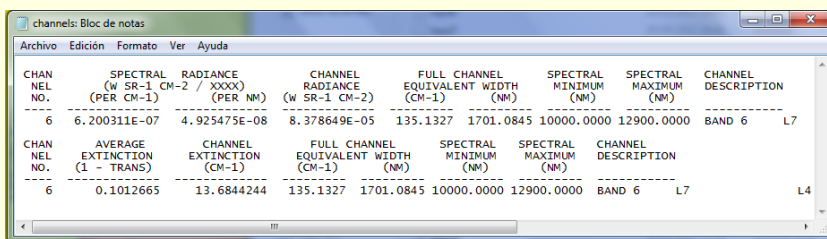
1- Estimación de la Radiancia ascendente en el ángulo de observación



CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (XXXX) (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
6	6.200311E-07	4.925475E-08	8.378649E-05	135.1327	1701.0845	10000.0000 12900.0000	BAND 6 L7

* Nota: para que la radiancia total coincida con el "path thermal", la superficie no debe emitir, es decir, hay que anular esa opción en la carta correspondiente.

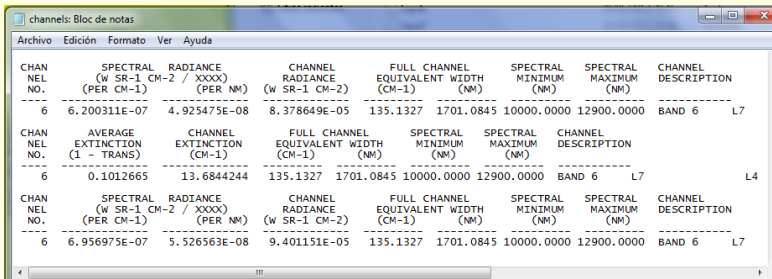
2- Estimación de la transmisividad en el ángulo de observación



CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (XXXX) (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
6	6.200311E-07	4.925475E-08	8.378649E-05	135.1327	1701.0845	10000.0000 12900.0000	BAND 6 L7
CHAN NEL NO.	AVERAGE EXTINCTION (1 - TRANS)	CHANNEL EXTINCTION (CM-1)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION	
6	0.1012665	13.6844244	135.1327	1701.0845	10000.0000 12900.0000	BAND 6 L7	L4

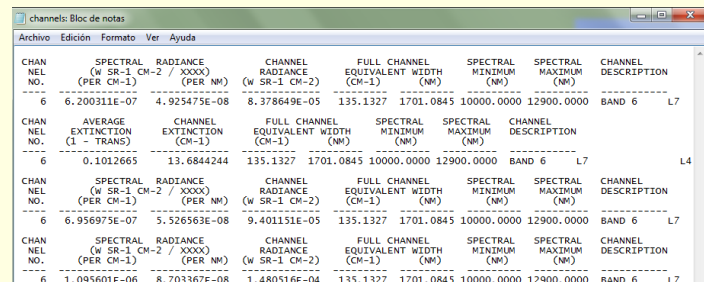
* Nota: en este caso lo hacemos todo aprovechando el modo ejecución en batería

3- Estimación de la Radiancia atmosférica descendente



CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (XXXX) (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
6	6.200311E-07	4.925475E-08	8.378649E-05	135.1327	1701.0845	10000.0000 12900.0000	BAND 6 L7
CHAN NEL NO.	AVERAGE EXTINCTION (1 - TRANS)	CHANNEL EXTINCTION (CM-1)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION	
6	0.1012665	13.6844244	135.1327	1701.0845	10000.0000 12900.0000	BAND 6 L7	L4
CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (XXXX) (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
6	6.956975E-07	5.526563E-08	9.401151E-05	135.1327	1701.0845	10000.0000 12900.0000	BAND 6 L7

* Nota: una aproximación sería multiplicar este valor al nadir por un coeficiente de 1.5 para obtener el valor equivalente a 53°. Mucho mejor evaluarla a 53°.



CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (XXXX) (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
6	6.200311E-07	4.925475E-08	8.378649E-05	135.1327	1701.0845	10000.0000 12900.0000	BAND 6 L7
CHAN NEL NO.	AVERAGE EXTINCTION (1 - TRANS)	CHANNEL EXTINCTION (CM-1)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION	
6	0.1012665	13.6844244	135.1327	1701.0845	10000.0000 12900.0000	BAND 6 L7	L4
CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (XXXX) (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
6	6.956975E-07	5.526563E-08	9.401151E-05	135.1327	1701.0845	10000.0000 12900.0000	BAND 6 L7
CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (XXXX) (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION
6	1.095601E-06	8.703367E-08	1.480516E-04	135.1327	1701.0845	10000.0000 12900.0000	BAND 6 L7

* Nota: aunque desde luego lo más correcto sería estimarla para los ángulos críticos: **0,0,11,6,26,1,40,3,53,7,65,70,75,80,85,87,89**, y posteriormente integrar los valores.

Edición	Formato	Ver	Ayuda								
6	1.095601E-06	8.703367E-08	1.480516E-04	135.1327	1701.0845	10000.0000	12900.0000	BAND 6	L7		
CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION				
6	7.091638E-07	5.633538E-08	9.583124E-05	135.1327	1701.0845	10000.0000	12900.0000	BAND 6	L7		
CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION				
6	7.682784E-07	6.103139E-08	1.038196E-04	135.1327	1701.0845	10000.0000	12900.0000	BAND 6	L7		
CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION				
6	8.904381E-07	7.073566E-08	1.203273E-04	135.1327	1701.0845	10000.0000	12900.0000	BAND 6	L7		
CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION				
6	1.111150E-06	8.826883E-08	1.501527E-04	135.1327	1701.0845	10000.0000	12900.0000	BAND 6	L7		
CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION				
6	1.472419E-06	1.169678E-07	1.989720E-04	135.1327	1701.0845	10000.0000	12900.0000	BAND 6	L7		
CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION				
6	2.875336E-06	2.284143E-07	3.885520E-04	135.1327	1701.0845	10000.0000	12900.0000	BAND 6	L7		
CHAN NEL NO.	SPECTRAL (W SR-1 CM-2 / PER CM-1)	RADIANCE (PER NM)	CHANNEL RADIANCE (W SR-1 CM-2)	FULL CHANNEL EQUIVALENT WIDTH (CM-1)	SPECTRAL MINIMUM (NM)	SPECTRAL MAXIMUM (NM)	CHANNEL DESCRIPTION				

$$L_i^{\downarrow atm hem} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_i^{\downarrow atm}(\theta, \phi) \sin(\theta) \cos(\theta) d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \sin(\theta) \cos(\theta) d\theta d\phi}$$

4- Aplicación de la ETR en el térmico con los parámetros anteriores, y estimación de la temperatura de la superficie (asumir valores de emisividad).

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



PRÁCTICA 3: Calibración del ángulo efectivo de un sensor térmico

Se desea conocer, por comodidad, el ángulo efectivo de medida de la radiancia atmosférica descendente para un sensor térmico de reciente adquisición del cual conocemos su función filtro.

- Preparar el archivo del filtro en el formato adecuado para su lectura por MODTRAN.
- Programar en modo batería la estimación de la radiancia atmosférica descendente para los ángulos críticos vistos anteriormente.
- Extraer el ángulo efectivo a través de su relación con el valor obtenido al nadir.



PRÁCTICA 4: Elaborar un programa para tratar de evaluar el forzamiento radiativo

Los códigos de transferencia radiativa como MODTRAN son tremendamente útiles para simular escenarios que permitan estudiar fenómenos tan complejos como el forzamiento radiativo debido a la variación de dos o más parámetros (concentración de gases, cobertura nubosa, etc.).

La idea sería tratar de programar (Matlab, IDL, Fortran,...) la ejecución en cadena de MODTRAN a partir de una tabla de varias entrada en la que se varíe la concentración de uno o varios de los gases más absorbentes de la atmósfera, y también la presencia y grosor de las nubes, por ejemplo.

El output a analizar sería la Irradiancia Solar Transmitida.