

# Herramientas de Teledetección Cuantitativa

Rebotando por la atmósfera

Francisco Nemiña

Unidad de Educación y Formación Masiva  
Comisión Nacional de Actividades Espaciales

3 de mayo de 2017



# Esquema de presentación

Escenas del capítulo anterior

Describiendo el problema

Aproximaciones

Dispersión

Moléculas

Aerosoles

Absorciones

Métodos de resolución

Dark Object Subtraction

6S

Práctica



# La vez pasada vimos

- ▶ Como partiendo de la energía se llega a la radiancia.
- ▶ Que la radiancia era una magnitud de interes pues es lo que media el sensor.
- ▶ Que la reflectancia se definia como  $\rho = \pi L / E_0 \cos \theta$
- ▶ Que a partir de esto podiamos definir la  $\rho_\lambda$  la firma espectral como una característica de cada cuerpo.
- ▶ Definimos 3 tipos de firmas espectrales *patrón* y como se comportaba cada una.



# La vez pasada vimos

- ▶ Como partiendo de la energía se llega a la radiancia.
- ▶ Que la radiancia era una magnitud de interes pues es lo que media el sensor.
- ▶ Que la reflectancia se definia como  $\rho = \pi L / E_0 \cos \theta$
- ▶ Que a partir de esto podiamos definir la  $\rho_\lambda$  la firma espectral como una característica de cada cuerpo.
- ▶ Definimos 3 tipos de firmas espectrales *patrón* y como se comportaba cada una.



# La vez pasada vimos

- ▶ Como partiendo de la energía se llega a la radiancia.
- ▶ Que la radiancia era una magnitud de interes pues es lo que media el sensor.
- ▶ Que la reflectancia se definia como  $\rho = \pi L / E_0 \cos \theta$
- ▶ Que a partir de esto podiamos definir la  $\rho_\lambda$  la firma espectral como una característica de cada cuerpo.
- ▶ Definimos 3 tipos de firmas espectrales *patrón* y como se comportaba cada una.



# La vez pasada vimos

- ▶ Como partiendo de la energía se llega a la radiancia.
- ▶ Que la radiancia era una magnitud de interes pues es lo que media el sensor.
- ▶ Que la reflectancia se definia como  $\rho = \pi L / E_0 \cos \theta$
- ▶ Que a partir de esto podiamos definir la  $\rho_\lambda$  la firma espectral como una característica de cada cuerpo.
- ▶ Definimos 3 tipos de firmas espectrales *patrón* y como se comportaba cada una.

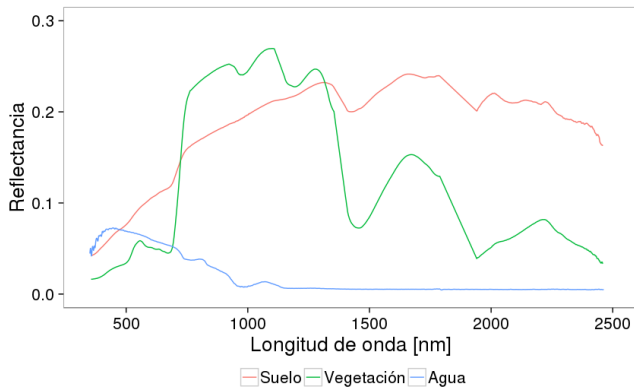


# La vez pasada vimos

- ▶ Como partiendo de la energía se llega a la radiancia.
- ▶ Que la radiancia era una magnitud de interes pues es lo que media el sensor.
- ▶ Que la reflectancia se definia como  $\rho = \pi L / E_0 \cos \theta$
- ▶ Que a partir de esto podiamos definir la  $\rho_\lambda$  la firma espectral como una característica de cada cuerpo.
- ▶ Definimos 3 tipos de firmas espectrales *patrón* y como se comportaba cada una.



# Firmas espectrales



Firmas espectrales típicas de suelo, agua y vegetación.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Roger Nelson Clark y col. *USGS digital spectral library splib06a*. 2007.





# Esquema de presentación

Escenas del capítulo anterior

Describiendo el problema

Aproximaciones

Dispersión

Moléculas

Aerosoles

Absorciones

Métodos de resolución

Dark Object Subtraction

6S

Práctica



# Planteo del problema

## Problema

Queremos estudiar el problema de adquirir una imagen satelital teniendo en cuenta el efecto de la atmósfera. Para esto estudiaremos la variación de la radiancia.

$$L_{\lambda}$$



# Planteo del problema

## Problema

Queremos estudiar el problema de adquirir una imagen satelital teniendo en cuenta el efecto de la atmósfera. Para esto estudiaremos la variación de la radiancia.

$$L_{\lambda}$$



En la atmósfera pueden darse 3 tipos de interacción con la luz

- ▶ Absorción  $\alpha$
- ▶ Transmisión  $\tau$
- ▶ Dispersión  $\rho$

Observación

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad (1)$$



En la atmósfera pueden darse 3 tipos de interacción con la luz

- ▶ Absorción  $\alpha$
- ▶ Transmisión  $\tau$
- ▶ Dispersión  $\rho$

Observación

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad (1)$$



En la atmósfera pueden darse 3 tipos de interacción con la luz

- ▶ Absorción  $\alpha$
- ▶ Transmisión  $\tau$
- ▶ Dispersión  $\rho$

Observación

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad (1)$$



En la atmósfera pueden darse 3 tipos de interacción con la luz

- ▶ Absorción  $\alpha$
- ▶ Transmisión  $\tau$
- ▶ Dispersión  $\rho$

Observación

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad (1)$$



En la atmósfera pueden darse 3 tipos de interacción con la luz

- ▶ Absorción  $\alpha$
- ▶ Transmisión  $\tau$
- ▶ Dispersión  $\rho$

Observación

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad (1)$$





En la atmósfera pueden darse 3 tipos de interacción con la luz

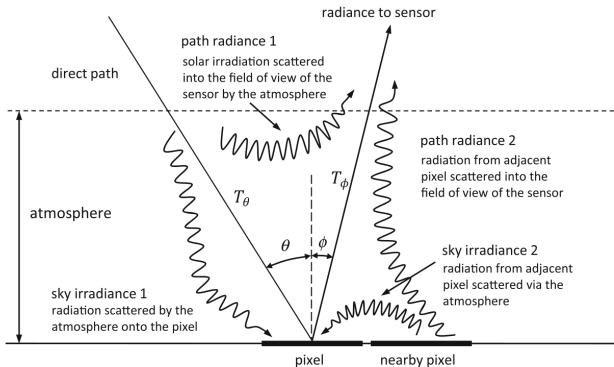
- ▶ Absorción  $\alpha$
- ▶ Transmisión  $\tau$
- ▶ Dispersión  $\rho$

## Observación

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad (1)$$



# Visto en la atmósfera



Interacciones entre la atmósfera y la luz.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>John A Richards. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer, 2013.



# Planteo del problema

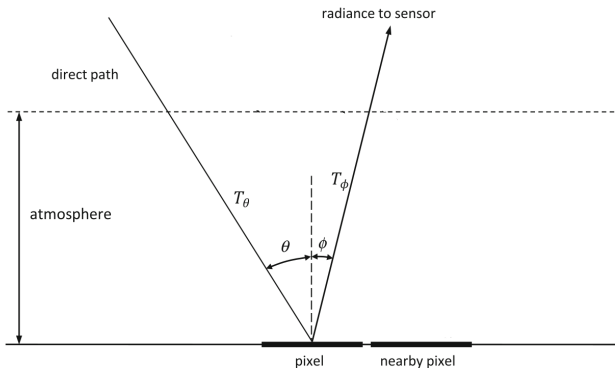


Diagrama esquemático de la absorción en la atmósfera.<sup>3</sup>

<sup>3</sup>John A Richards. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer, 2013.



# Planteo del problema

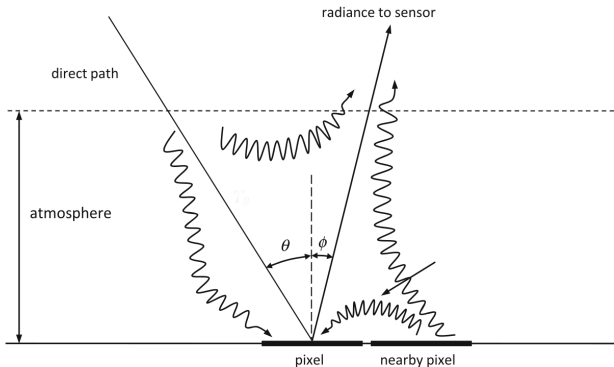


Diagrama esquemático de las dispersiones en la atmósfera.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> John A Richards. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer, 2013.



# Planteo del problema

## Formulación matemática

$$dL_\lambda = -k_\lambda \rho L_\lambda ds + j_\lambda \rho ds$$

donde  $-k_\lambda \rho L_\lambda ds$  representa absorciones y  $j_\lambda \rho ds$  representa fuentes,

$$\frac{dL_\lambda}{k_\lambda \rho ds} = -L_\lambda + J_\lambda$$

## Nombres

- ▶  $k_\lambda$  mass extinction cross section
- ▶  $j_\lambda$  source function coefficient
- ▶  $\rho$  densidad



# Planteo del problema

## Formulación matemática

$$dL_\lambda = -k_\lambda \rho L_\lambda ds + j_\lambda \rho ds$$

donde  $-k_\lambda \rho L_\lambda ds$  representa absorciones y  $j_\lambda \rho ds$  representa fuentes,

$$\frac{dL_\lambda}{k_\lambda \rho ds} = -L_\lambda + J_\lambda$$

## Nombres

- ▶  $k_\lambda$  mass extinction cross section
- ▶  $j_\lambda$  source function coefficient
- ▶  $\rho$  densidad



# Planteo del problema

## Formulación matemática

$$dL_\lambda = -k_\lambda \rho L_\lambda ds + j_\lambda \rho ds$$

donde  $-k_\lambda \rho L_\lambda ds$  representa absorciones y  $j_\lambda \rho ds$  representa fuentes,

$$\frac{dL_\lambda}{k_\lambda \rho ds} = -L_\lambda + J_\lambda$$

## Nombres

- ▶  $k_\lambda$  mass extinction cross section
- ▶  $j_\lambda$  source function coefficient
- ▶  $\rho$  densidad



## Aproximaciones

- ▶ Resolver esto en general no se puede.
- ▶ Hay que hacer distintas aproximaciones





## Aproximaciones

- ▶ Resolver esto en general no se puede.
- ▶ Hay que hacer distintas aproximaciones



# Esquema de presentación

Escenas del capítulo anterior

Describiendo el problema

## Aproximaciones

Dispersión

Moléculas

Aerosoles

Absorciones

Métodos de resolución

Dark Object Subtraction

6S

Práctica



# Absorción constante y sin fuentes

$$k_\lambda = \text{cte}, j_\lambda = 0$$

En este caso nos queda la ecuación

$$dL_\lambda = -k_\lambda \rho L_\lambda ds \quad (2)$$

cuya solución es

$$L_\lambda(s_1) = L_\lambda(0) \exp \left( - \int_0^{s_1} k_\lambda \rho ds \right) \quad (3)$$



# Absorción constante y sin fuentes

$$k_\lambda = \text{cte}, j_\lambda = 0$$

En este caso nos queda la ecuación

$$dL_\lambda = -k_\lambda \rho L_\lambda ds \quad (2)$$

cuya solución es

$$L_\lambda(s_1) = L_\lambda(0) \exp \left( - \int_0^{s_1} k_\lambda \rho ds \right) \quad (3)$$



# Absorción constante y sin fuentes

$$k_{\lambda} = \text{cte}, j_{\lambda} = 0$$

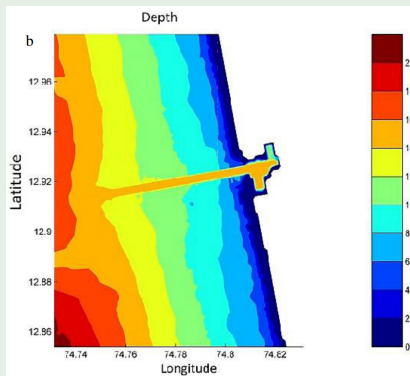
Un ejemplo de aplicación de esto es en batimetría.

$$s = m_1 \times \frac{\log L_i}{\log L_j} + m_0 \quad (4)$$



# Absorción constante y sin fuentes

$$k_{\lambda} = cte, j_{\lambda} = 0$$



Batimetría con Landsat 8.<sup>5</sup>

<sup>5</sup>P Jagalingam, BJ Akshaya y Arkal Vittal Hegde. "Bathymetry Mapping Using Landsat 8 Satellite Imagery". En: *Procedia Engineering* 116 (2015), págs. 560-566.



## Atmósfera plana

Suponemos que toda la dependencia espacial es en la dirección  $z$ , entonces

$$\mu \frac{dL_\lambda}{k_\lambda \rho dz} = -L_\lambda + J_\lambda \quad (5)$$

definiendo a la profundidad óptica como

$$\tau_\lambda = \int_z^\infty k_\lambda \rho dz \quad (6)$$



## Atmósfera plana

Suponemos que toda la dependencia espacial es en la dirección  $z$ , entonces

$$\mu \frac{dL_\lambda}{k_\lambda \rho dz} = -L_\lambda + J_\lambda \quad (5)$$

definiendo a la profundidad óptica como

$$\tau_\lambda = \int_z^\infty k_\lambda \rho dz \quad (6)$$





## Atmósfera plana

Nos queda entonces

$$\mu \frac{dL_\lambda}{d\tau} = L_\lambda - J_\lambda \quad (7)$$

Resolver esto ya depende de la atmósfera y no suele haber formas cerradas.

## Observación

Necesito además conocer 2 condiciones de contorno.

- ▶ La radiancia solar
- ▶ La reflectancia en el terreno



## Atmósfera plana

Nos queda entonces

$$\mu \frac{dL_\lambda}{d\tau} = L_\lambda - J_\lambda \quad (7)$$

Resolver esto ya depende de la atmósfera y no suele haber formas cerradas.

## Observación

Necesito además conocer 2 condiciones de contorno.

- ▶ La radiancia solar
- ▶ La reflectancia en el terreno



## Atmósfera plana

Nos queda entonces

$$\mu \frac{dL_\lambda}{d\tau} = L_\lambda - J_\lambda \quad (7)$$

Resolver esto ya depende de la atmósfera y no suele haber formas cerradas.

## Observación

Necesito además conocer 2 condiciones de contorno.

- ▶ La radiancia solar
- ▶ La reflectancia en el terreno



## Atmósfera plana

Nos queda entonces

$$\mu \frac{dL_\lambda}{d\tau} = L_\lambda - J_\lambda \quad (7)$$

Resolver esto ya depende de la atmósfera y no suele haber formas cerradas.

## Observación

Necesito además conocer 2 condiciones de contorno.

- ▶ La radiancia solar
- ▶ La reflectancia en el terreno



## Definición

Llamamos *transmitancia*  $T$  a la fracción de radiancia que atraviesa la atmósfera dividida la radiancia incidente.

## Definición

Llamamos *Irradiancia del cielo* a la cantidad de irradiancia  $E_D$  que proviene del cielo e ilumina al píxel.

## Definición

Llamamos *Radiancia de camino* a la cantidad de radiancia  $L_P$  que proviene del cielo y viaja hacia el sensor.



## Definición

Llamamos *transmitancia*  $T$  a la fracción de radiancia que atraviesa la atmósfera dividida la radiancia incidente.

## Definición

Llamamos *Irradiancia del cielo* a la cantidad de irradiancia  $E_D$  que proviene del cielo e ilumina al píxel.

## Definición

Llamamos *Radiancia de camino* a la cantidad de radiancia  $L_P$  que proviene del cielo y viaja hacia el sensor.



## Definición

Llamamos *transmitancia*  $T$  a la fracción de radiancia que atraviesa la atmósfera dividida la radiancia incidente.

## Definición

Llamamos *Irradiancia del cielo* a la cantidad de irradiancia  $E_D$  que proviene del cielo e ilumina al píxel.

## Definición

Llamamos *Radiancia de camino* a la cantidad de radiancia  $L_P$  que proviene del cielo y viaja hacia el sensor.



# Cálculo de la radiancia TOA

Con estas definiciones podemos calcular la radiancia recibida por el satélite como

$$L = T_{\phi} \frac{(E_0 T_{\theta} \cos \theta + E_D) \rho}{\pi} + L_p \quad (8)$$

Ahora tenemos que entender bien que representa cada cosa.





# Cálculo de la radiancia TOA

Con estas definiciones podemos calcular la radiancia recibida por el satélite como

$$L = T_{\phi} \frac{(E_0 T_{\theta} \cos \theta + E_D) \rho}{\pi} + L_p \quad (8)$$

Ahora tenemos que entender bien que representa cada cosa.



# Esquema de presentación

Escenas del capítulo anterior

Describiendo el problema

Aproximaciones

Dispersión

Moléculas

Aerosoles

Absorciones

Métodos de resolución

Dark Object Subtraction

6S

Práctica

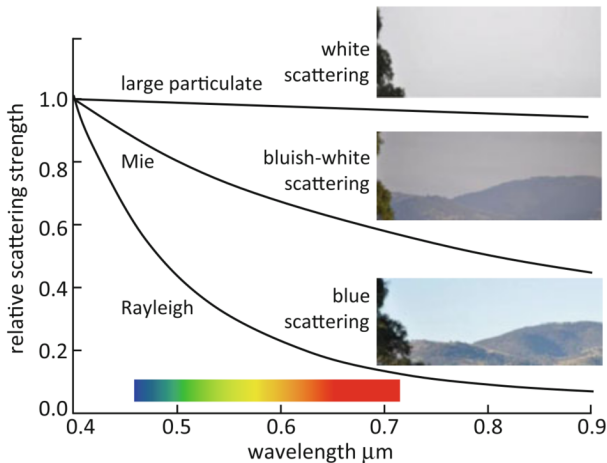


La luz dispersada por la atmósfera provendrá de dos fuentes

- ▶ Moléculas
- ▶ Aerosoles



# Dispersión



Distintos tipos de dispersión en la atmósfera.<sup>6</sup>

<sup>6</sup>John A Richards. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer, 2013.



- ▶ Está presente siempre.
- ▶ Es mas sencilla de modelar



Cuando las partículas tienen un tamaño mucho menor que la longitud de donde utilizada

$$L = L_0 \left( \frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{-4} \quad (9)$$



# Modelo de Rayleigh

- ▶ La existencia de esta dispersión, además, va a generar absorción en la atmósfera.
- ▶ La distribución angular no va a ser uniforme.



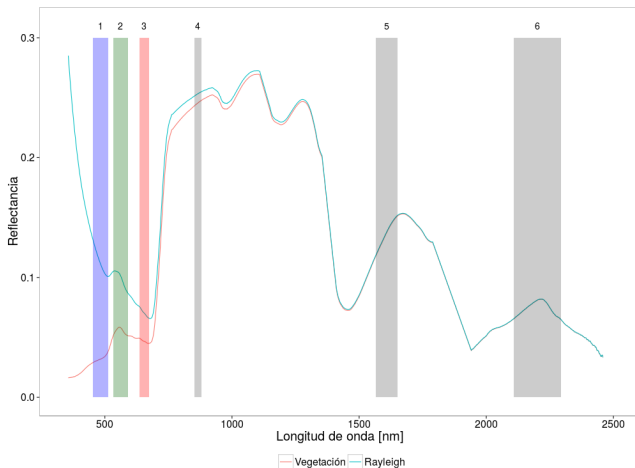
# Modelo de Rayleigh

- ▶ La existencia de esta dispersión, además, va a generar absorción en la atmósfera.
- ▶ La distribución angular no va a ser uniforme.





# Sobre la firma espectral



Variación de la firma espectral por dispersión de Rayleigh.<sup>7</sup>

<sup>7</sup>Roger Nelson Clark y col. *USGS digital spectral library splib06a*. 2007.



- ▶ Su presencia en la atmósfera no va a ser constante.
- ▶ Es de las contribuciones mas complicadas de modelar.
- ▶ Incluso si se sabe que cantidad de aerosoles hay es importante también saber de que tipo.



En un modelo de juguete

$$L = L_0 \left( \frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{-\alpha} \quad (10)$$

donde  $4 > \alpha > 1$  disminuye a medida que disminuye la visibilidad.



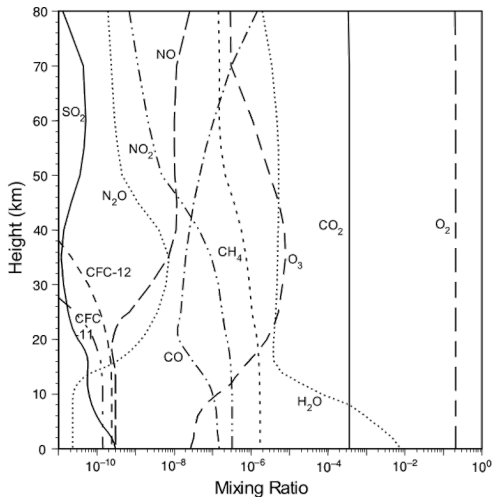
## Porcentaje de dispersión típica

Para Landat 5 - TM

Banda	Rayleigh	Aerosol
$490 \pm 60nm$	↗ 0.064 - 0.080	↗ 0.007 - 0.048
$575 \pm 75nm$	↗ 0.032 - 0.040	↗ 0.006 - 0.040
$670 \pm 70nm$	↗ 0.018 - 0.020	↗ 0.005 - 0.034
$837 \pm 107nm$	↗ 0.007 - 0.009	↗ 0.003 - 0.023
$1692 \pm 178nm$	↗ 0.000 - 0.001	↗ 0.001 - 0.007
$2190 \pm 215nm$	-	↗ 0.001 - 0.004



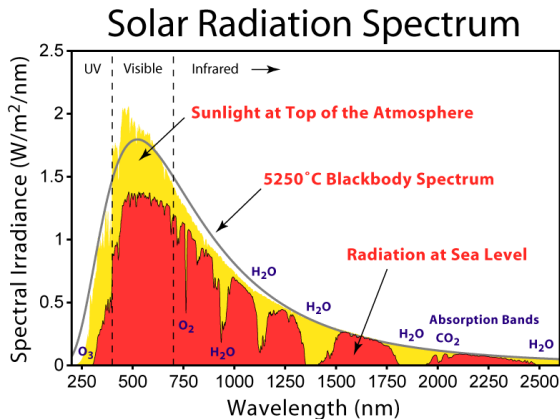
# Composición de la atmósfera



Composición de la atmósfera.<sup>8</sup>

<sup>8</sup>Kuo-Nan Liou. *An introduction to atmospheric radiation*. Vol. 84. Academic press, 2002.



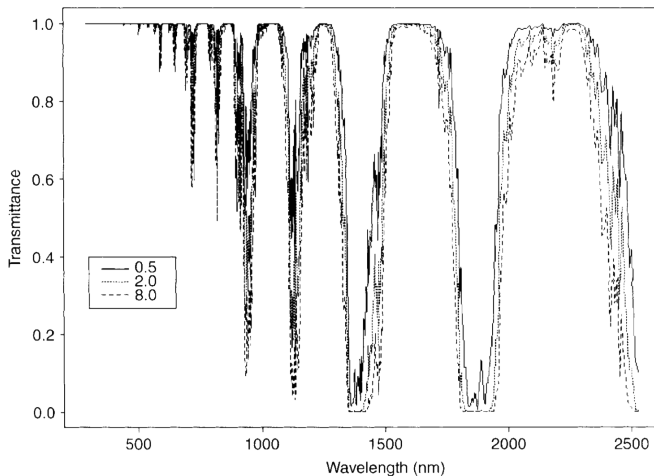


Comparación entre la irradiancia solar a tope de la atmósfera y de la cobertura.<sup>9</sup>

<sup>9</sup>Wikipedia. *Solar Spectrum*. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar\\_Spectrum.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_Spectrum.png). [Internet; descargado 1-Septiembre-2016]. 2007.



# Absorciones



Variaciones de la absorción por contenido de vapor de agua.<sup>10</sup>

<sup>10</sup>Shunlin Liang. *Quantitative remote sensing of land surfaces*. Vol. 30. John Wiley & Sons, 2005.



## Porcentaje de absorción típica

Para Landat 5 - TM

Banda	Ozono	Vapor de agua
$490 \pm 60nm$	↘ 1.5 % - 2.9 %	-
$575 \pm 75nm$	↘ 5.2 % - 13.4 %	↘ 0.5 %-3 %
$670 \pm 70nm$	↘ 3.1 % - 7.9 %	↘ 0.5 %-3 %
$837 \pm 107nm$	-	↘ 3.5 %-14 %
$1692 \pm 178nm$	-	↘ 5 %-16 %
$2190 \pm 215nm$	-	↘ 2.5 %-13 %

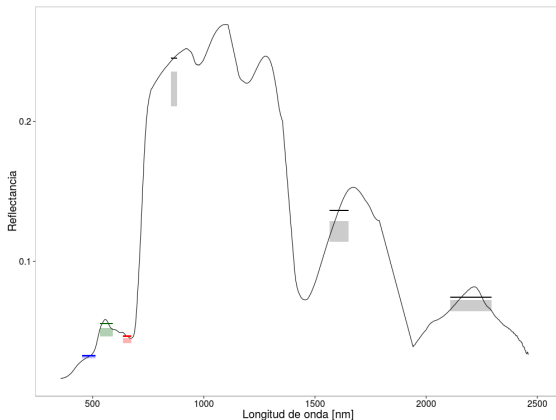
Variaciones de absorvancia por contenido de ozono y vapor de agua.<sup>11</sup>

<sup>11</sup>EF Vermote y A Vermeulen. "Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09). <http://modarch.gsfc.nasa.gov>". En: MODIS/ATBD/atbd\_mod08. pdf 49 ().





# Absorciones



Comparación entre la firma espectral y la respuesta espectral para vegetación con errores por absorción de ozono y vapor de agua.<sup>12</sup>

<sup>12</sup>Roger Nelson Clark y col. *USGS digital spectral library splib06a*. 2007.



# Esquema de presentación

Escenas del capítulo anterior

Describiendo el problema

Aproximaciones

Dispersión

Moléculas

Aerosoles

Absorciones

Métodos de resolución

Dark Object Subtraction

6S

Práctica

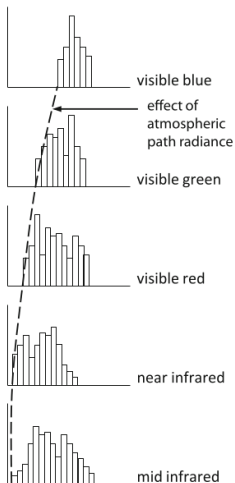


$$\rho_{TOA} = \frac{\pi L}{\cos \theta_z E_0} \quad (11)$$



Esté método se apoya en suposiciones sobre las imágenes para estimar el valor de  $L_P$ .





Histogramas por banda mostrando el menor valor en cada una.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> John A Richards. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer, 2013.



## Importante

Estamos suponiendo que tenemos un cuerpo de reflectancia cero en cada banda dentro de la imagen.



$$\rho_{TOC} = \rho_{TOA} - \rho_{TOA,min} \quad (12)$$



En este método vamos a introducir datos sobre las condiciones de la atmósfera para calcular todos los parámetros para la corrección.





Vamos a necesitar

- ▶ La visibilidad meteorológica.
- ▶ Tipo de sensor.
- ▶ Ángulos cenital y azimutal.
- ▶ Fecha, hora, latitud y longitud.



## Simulador

<http://6s.ltdri.org/pages/run6SV.html>



## Importante

Poner mal los parámetros acá puede que de cualquier cosa.



$$\rho_{TOC} = \frac{A\rho_{TOA} + B}{1 + \gamma(A\rho_{TOA} + B)} \quad (13)$$

- ▶  $A = 1/\alpha\beta$ .
- ▶  $B = -\rho_I/\beta$ .
- ▶  $\alpha$  Global gas transmittance.
- ▶  $\beta$  Total scattering transmittance.
- ▶  $\gamma$  Spherical albedo.



$$\rho_{TOC} = \frac{A\rho_{TOA} + B}{1 + \gamma(A\rho_{TOA} + B)} \quad (13)$$

- ▶  $A = 1/\alpha\beta$ .
- ▶  $B = -\rho_I/\beta$ .
- ▶  $\alpha$  Global gas transmittance.
- ▶  $\beta$  Total scattering transmittance.
- ▶  $\gamma$  Spherical albedo.



# Esquema de presentación

Escenas del capítulo anterior

Describiendo el problema

Aproximaciones

Dispersión

- Moléculas

- Aerosoles

- Absorciones

Métodos de resolución

- Dark Object Subtraction

- 6S

Práctica



## Actividades prácticas de la primera clase

1. Calibrar la imagen L1 a reflectancia a tope de la atmósfera.
2. Corregir la imagen por el método DOS
3. Corregir la imagen por el método del 6S.
4. Comparar las firmas espectrales.

