

Herramientas de Teledetección Cuantitativa

Clase 2

Francisco Nemiña

Unidad de Educación y Formación Masiva
Comisión Nacional de Actividades Espaciales



Esquema de presentación

Transferencia radiativa

Planteo del problema

Aproximaciones

Absorción constante y sin fuentes

Atmósfera plana

Atmósfera

Absorciones

Dispersión

Soluciones practicas

Reflectancia

Correccion atmosferica

Práctica



Planteo del problema

Problema

Queremos estudiar el problema de adquirir una imagen satelital cuando hay atmósfera presente. Para esto estudiaremos la variación de la radiancia.

$$L_{\lambda}$$



Planteo del problema

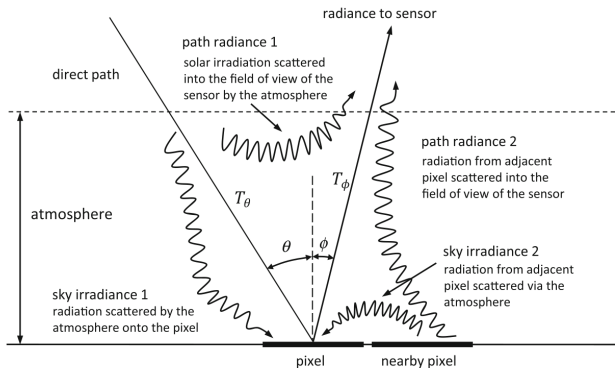
Problema

Queremos estudiar el problema de adquirir una imagen satelital cuando hay atmósfera presente. Para esto estudiaremos la variación de la radiancia.

$$L_{\lambda}$$



Planteo del problema



Interacciones entre la atmósfera y la luz.¹

¹John A Richards. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer, 2013.



Planteo del problema

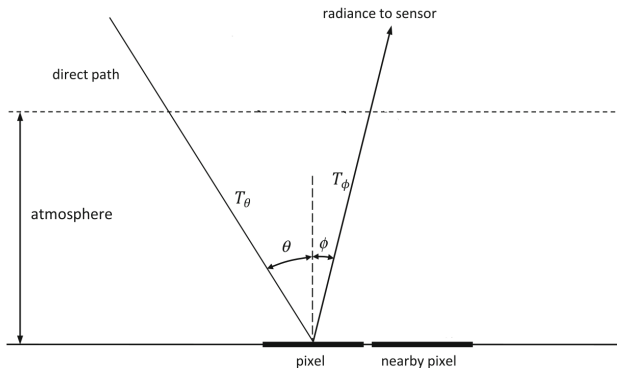


Diagrama esquemático de la absorción en la atmósfera.²

²John A Richards. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer, 2013.



Planteo del problema

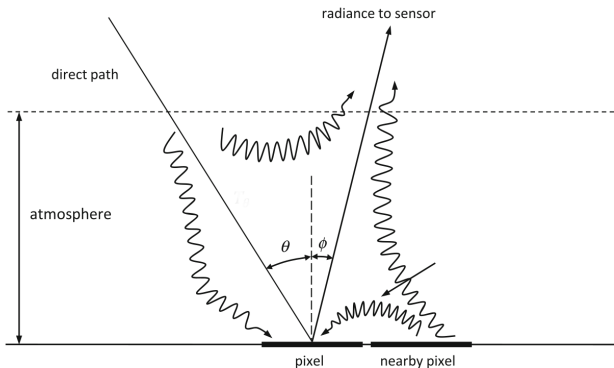


Diagrama esquemático de las dispersiones en la atmósfera.³

³John 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_λ mass extinction cross section
- ▶ j_λ source function coefficient
- ▶ ρ 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_λ mass extinction cross section
- ▶ j_λ source function coefficient
- ▶ ρ 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_λ mass extinction cross section
- ▶ j_λ source function coefficient
- ▶ ρ densidad



Planteo del problema

Aproximaciones

Resolver esto en general es imposible. Tendremos que hacer distintas aproximaciones.



Esquema de presentación

Transferencia radiativa

Planteo del problema

Aproximaciones

Absorción constante y sin fuentes

Atmósfera plana

Atmósfera

Absorciones

Dispersión

Soluciones practicas

Reflectancia

Correccion atmosferica

Práctica



Absorción constante y sin fuentes

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

En este caso nos queda la ecuación

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

cuya solución es

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



Absorción constante y sin fuentes

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

En este caso nos queda la ecuación

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

cuya solución es

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



Absorción constante y sin fuentes

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

Notando

$$u = \int_0^{s_1} \rho ds$$

nos queda la ecuación mas compacta

$$L_\lambda(s_1) = L_\lambda(0)e^{-k_\lambda u}$$

conocida como ley de Beer-Bouguer-Lambert.



Absorción constante y sin fuentes

Definición

Llamamos transmitancia espectral al valor

$$T_{\lambda} = \frac{L_{\lambda}}{L_{\lambda}(0)} = e^{-k_{\lambda} u}$$

Utilidad

Si definimos la transmitancia como arriba:

$$L_{\lambda} = T_{\lambda} L_{\lambda}(0)$$



Absorción constante y sin fuentes

Definición

Llamamos transmitancia espectral al valor

$$T_{\lambda} = \frac{L_{\lambda}}{L_{\lambda}(0)} = e^{-k_{\lambda} u}$$

Utilidad

Si definimos la transmitancia como arriba:

$$L_{\lambda} = T_{\lambda} L_{\lambda}(0)$$



Atmósfera plana

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

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

definiendo a la profundidad óptica como

$$\tau_\lambda = \int_z^\infty k_\lambda \rho dz$$



Atmósfera plana

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

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

definiendo a la profundidad óptica como

$$\tau_\lambda = \int_z^\infty k_\lambda \rho dz$$



Atmósfera plana

Nos queda entonces

$$\mu \frac{dL_\lambda}{d\tau} = L_\lambda - J_\lambda$$

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

Observacion

Necesito además conocer 2 condiciones de contorno.

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



Atmósfera plana

Nos queda entonces

$$\mu \frac{dL_\lambda}{d\tau} = L_\lambda - J_\lambda$$

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

Observacion

Necesito además conocer 2 condiciones de contorno.

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



Atmósfera plana

Nos queda entonces

$$\mu \frac{dL_\lambda}{d\tau} = L_\lambda - J_\lambda$$

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

Observacion

Necesito además conocer 2 condiciones de contorno.

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



Esquema de presentación

Transferencia radiativa

Planteo del problema

Aproximaciones

Absorción constante y sin fuentes

Atmósfera plana

Atmósfera

Absorciones

Dispersión

Soluciones practicas

Reflectancia

Correccion atmosferica

Práctica



Efectos atmosféricos

- ▶ **Absorciones**
 - ▶ Constantes
 - ▶ Variables
- ▶ **Dispersión**
 - ▶ Rayleigh
 - ▶ Mie
 - ▶ Aerosoles



Efectos atmosféricos

- ▶ Absorciones
 - ▶ Constantes
 - ▶ Variables
- ▶ Dispersión
 - ▶ Rayleigh
 - ▶ Mie
 - ▶ Aerosoles



Efectos atmosféricos

- ▶ Absorciones
 - ▶ Constantes
 - ▶ Variables
- ▶ Dispersión
 - ▶ Rayleigh
 - ▶ Mie
 - ▶ Aerosoles



Efectos atmosféricos

- ▶ Absorciones
 - ▶ Constantes
 - ▶ Variables
- ▶ **Dispersión**
 - ▶ Rayleigh
 - ▶ Mie
 - ▶ Aerosoles



Efectos atmosfericos

- ▶ Absorciones
 - ▶ Constantes
 - ▶ Variables
- ▶ Dispersión
 - ▶ Rayleigh
 - ▶ Mie
 - ▶ Aerosoles



Efectos atmosféricos

- ▶ Absorciones
 - ▶ Constantes
 - ▶ Variables
- ▶ Dispersión
 - ▶ Rayleigh
 - ▶ Mie
 - ▶ Aerosoles

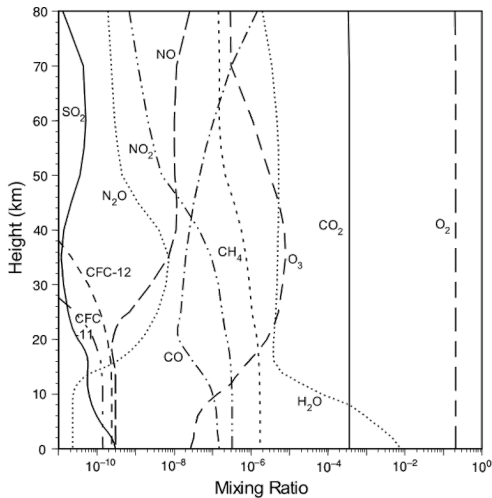


Efectos atmosféricos

- ▶ Absorciones
 - ▶ Constantes
 - ▶ Variables
- ▶ Dispersión
 - ▶ Rayleigh
 - ▶ Mie
 - ▶ Aerosoles



Absorciones

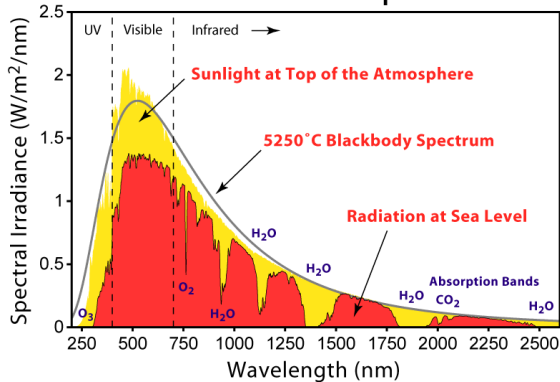


Composición de la atmósfera.⁴

⁴Kuo-Nan Liou. *An introduction to atmospheric radiation*. Vol. 84. Academic press, 2002.



Solar Radiation Spectrum

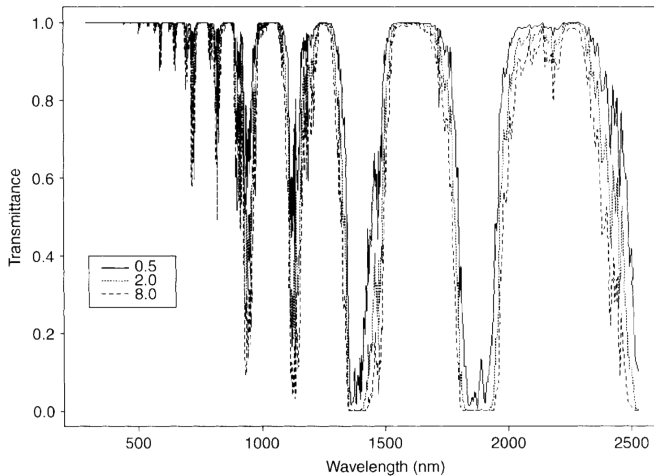


Comparación entre la irradiancia solar a tope de la atmósfera y de la cobertura.⁵

⁵Wikimedia Commons. Solar Spectrum. 2007.



Absorciones



Variaciones de la absorción por contenido de vapor de agua.⁶

⁶Shunlin Liang. *Quantitative remote sensing of land surfaces*. Vol. 30. John Wiley & Sons, 2005.



Porcentaje de absorcion tipica

Para Landat 5 - TM

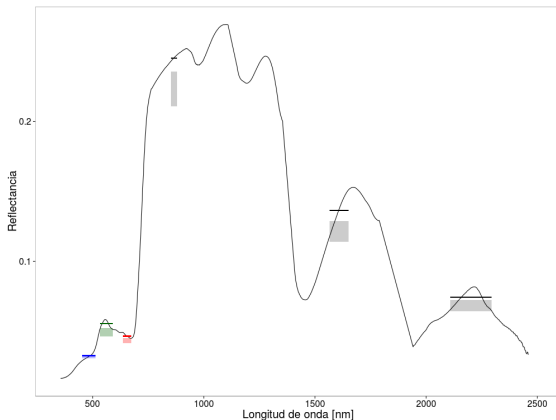
Banda	Ozono	Vapor de agua
$490 \pm 60nm$	↘ 1.5 % - 2.9 %	-
$575 \pm 75nm$	↘ 5.2 % - 13.4 %	↘ 0.5 %-3 %
$670 \pm 70nm$	↘ 3.1 % - 7.9 %	↘ 0.5 %-3 %
$837 \pm 107nm$	-	↘ 3.5 %-14 %
$1692 \pm 178nm$	-	↘ 5 %-16 %
$2190 \pm 215nm$	-	↘ 2.5 %-13 %

Variaciones de absorvancia por contenido de ozono y vapor de agua.⁷

⁷EF 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.⁸

⁸Roger Nelson Clark y col. *USGS digital spectral library splib06a*. 2007.



Soluciones

- ▶ Resolver la ecuación de transferencia radiativa.
- ▶ Calibrar con datos en el terreno.

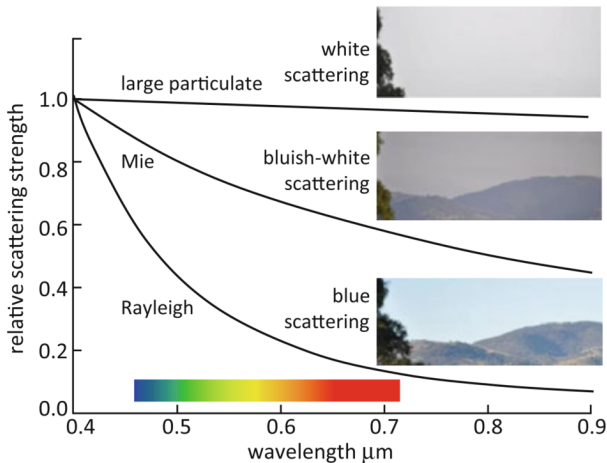


Soluciones

- ▶ Resolver la ecuación de transferencia radiativa.
- ▶ Calibrar con datos en el terreno.



Dispersión



Distintos tipos de dispersión en la atmósfera.⁹

⁹John A Richards. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer, 2013.



Dispersión de Rayleigh

Se da por partículas pequeñas

$$d \ll \lambda$$

esta siempre presente

$$J_{\lambda} \sim \frac{1}{\lambda^4}$$



Dispersión de Rayleigh

Se da por partículas pequeñas

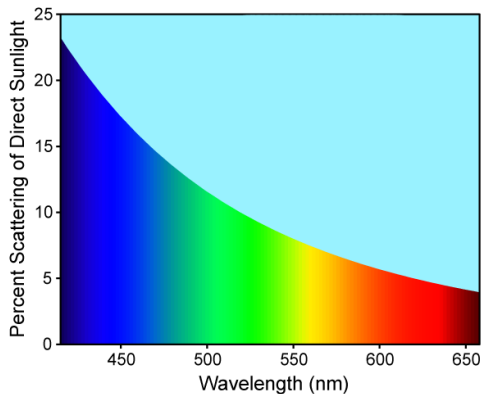
$$d \ll \lambda$$

esta siempre presente

$$J_{\lambda} \sim \frac{1}{\lambda^4}$$



Dispersión



J vs. λ en la zona óptica.¹⁰

¹⁰[Wikimedia Commons](#). *Rayleigh sunlight scattering*. 2007.



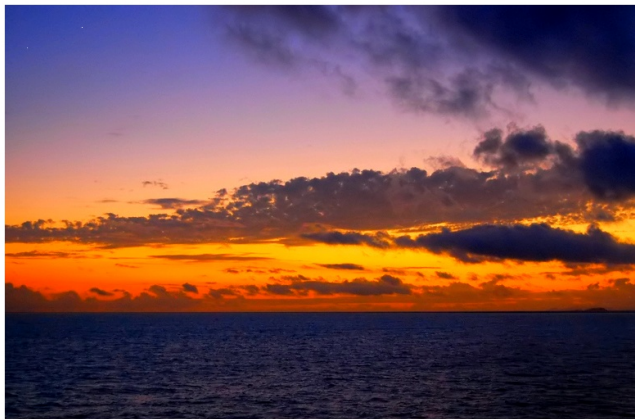


Foto de un atardecer para distender.¹¹

¹¹Paolo Motta. *Rayleigh scattering*. 2008.



Dispersión de Mie

Se da por partículas de tamaño similar a la longitud de onda

$$d \sim \lambda$$

puede o no estar presente.



Dispersión de Mie

Se da por partículas de tamaño similar a la longitud de onda

$$d \sim \lambda$$

puede o no estar presente.



Dispersión por aerosoles

Se da por partículas de mayor que la longitud de onda

$$d \gg \lambda$$

puede estar presente en distintas zonas de la imagen.



Dispersión por aerosoles

Se da por partículas de mayor que la longitud de onda

$$d \gg \lambda$$

puede estar presente en distintas zonas de la imagen.



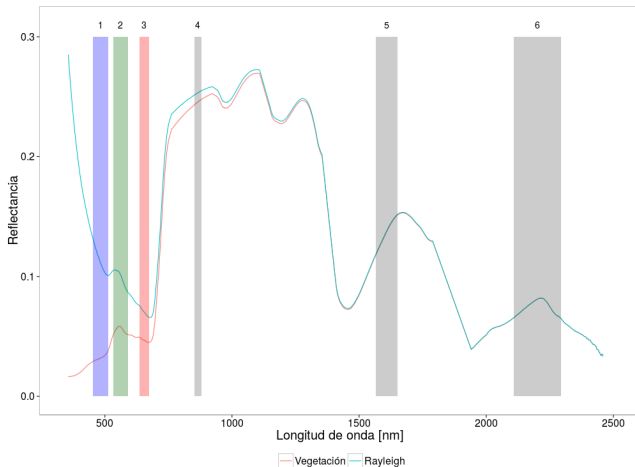
Porcentaje de dispersión típica

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



Dispersión



Variación de la firma espectral por dispersión de Rayleigh.¹²

¹²Roger Nelson Clark y col. *USGS digital spectral library splib06a*. 2007.



Soluciones

- ▶ Resolver ecuación de transferencia radiativa
- ▶ Calibrar con datos en el terreno.
- ▶ Modelar al comportamiento de forma estadística.



Soluciones

- ▶ Resolver ecuación de transferencia radiativa
- ▶ Calibrar con datos en el terreno.
- ▶ Modelar al comportamiento de forma estadística.



Soluciones

- ▶ Resolver ecuación de transferencia radiativa
- ▶ Calibrar con datos en el terreno.
- ▶ Modelar al comportamiento de forma estadística.



Esquema de presentación

Transferencia radiativa

Planteo del problema

Aproximaciones

Absorción constante y sin fuentes

Atmósfera plana

Atmósfera

Absorciones

Dispersión

Soluciones practicas

Reflectancia

Correccion atmosferica

Práctica



Calculo

$$\rho_{toa} = \frac{\pi L}{E_0}$$

$$3.14 * d^2 (g * DN + b) / E_0$$

- ▶ DN : número digital
- ▶ g : ganancia
- ▶ b : bias
- ▶ d : distancia tierra-sol
- ▶ E₀ : irradiancia solar



Calculo

$$\rho_{toa} = \frac{\pi L}{E_0}$$

$$3.14 * d^2 (g * DN + b) / E_0$$

- ▶ DN : número digital
- ▶ g : ganancia
- ▶ b : bias
- ▶ d : distancia tierra-sol
- ▶ E₀ : irradiancia solar



Calculo

$$\rho_{toa} = \frac{\pi L}{E_0}$$

$$3.14 * d^2 (g * DN + b) / E_0$$

- ▶ DN : número digital
- ▶ g : ganancia
- ▶ b : bias
- ▶ d : distancia tierra-sol
- ▶ E₀ : irradiancia solar



Calculo

$$\rho_{\cos} = \frac{\rho_{toa}}{\cos(\theta)}$$

$$\text{DN} / \cos(a)$$

- ▶ DN : reflectancia
- ▶ a : ángulo solar



Calculo

$$\rho_{\cos} = \frac{\rho_{toa}}{\cos(\theta)}$$

$$DN / \cos(a)$$

- ▶ DN : reflectancia
- ▶ a : ángulo solar



Calculo

$$\rho_{\cos} = \frac{\rho_{toa}}{\cos(\theta)}$$

$$DN / \cos(a)$$

- ▶ DN : reflectancia
- ▶ a : ángulo solar



Calculo

$$\rho_{dos} = \frac{\rho_{toa} - \rho_p}{\cos(\theta)}$$

$$(DN - DNmin) / \cos(a)$$

- ▶ DN : reflectancia
- ▶ DNmin : reflectancia mínima de la banda
- ▶ a : ángulo solar



Calculo

$$\rho_{dos} = \frac{\rho_{toa} - \rho_p}{\cos(\theta)}$$

$$(DN - DN_{min}) / \cos(a)$$

- ▶ DN : reflectancia
- ▶ DNmin : reflectancia mínima de la banda
- ▶ a : ángulo solar



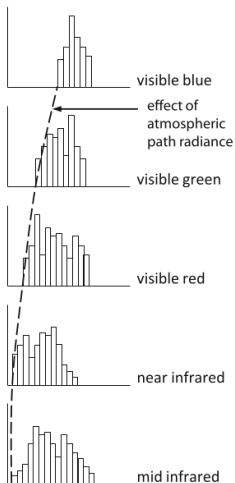
Calculo

$$\rho_{dos} = \frac{\rho_{toa} - \rho_p}{\cos(\theta)}$$

$$(DN - DN_{min}) / \cos(a)$$

- ▶ DN : reflectancia
- ▶ DN_{min} : reflectancia mínima de la banda
- ▶ a : ángulo solar





Histogramas por banda mostrando el menor valor en cada una.¹³

¹³ John A Richards. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer, 2013.



Esquema de presentación

Transferencia radiativa

Planteo del problema

Aproximaciones

Absorción constante y sin fuentes

Atmósfera plana

Atmósfera

Absorciones

Dispersión

Soluciones practicas

Reflectancia

Correccion atmosferica

Práctica



Actividades prácticas de la segunda clase

1. Abrir imágenes Landsat 8 y digitalizar coberturas de interes.
2. Convertir la imagen a reflectancia.
3. Corregir la imagen por el coseno del angulo.
4. Corregir la imagen por DOS 1 %.
5. Comparar las firmas obtenidas por distintos metodos.

