

Herramientas de Teledetección Cuantitativa

Un viaje del sol a los píxeles

Francisco Nemiña

Unidad de Educación y Formación Masiva
Comisión Nacional de Actividades Espaciales

1 de septiembre de 2016



Esquema de presentación

Organización del curso

Objetivos, programa y cronograma

Aprobación del curso

Radiación

Firmas espectrales

Espacio espectral

Práctica



Objetivos del curso

El curso tiene como objetivo

- ▶ Manejar el concepto de firma espectral.
- ▶ Conocer las aproximaciones realizadas al trabajar en teledetección.
- ▶ Corregir imágenes radiométricamente.
- ▶ Conocer la necesidad de dichas correcciones.
- ▶ Poder realizar transformaciones en el dominio espectral.
- ▶ Clasificar imágenes de forma supervisada y no supervisada.
- ▶ Validar clasificaciones de imágenes.
- ▶ Poder extraer valores cuantitativos en base a dicho procesamiento.



Vamos a dividir el curso en dos partes

1. Transformaciones en el dominio espectral.
 - ▶ Firmas espectrales
 - ▶ Correcciones radiométricas.
 - ▶ Índices espectrales.
 - ▶ Rotaciones en el espacio espectral.
2. Clasificación de imágenes en la práctica.
 - ▶ Clasificaciones supervisadas.
 - ▶ Clasificaciones no supervisadas.
 - ▶ Técnicas de posclasificación.



Cronograma - Parte 1

- ▶ 2/9 - Firmas espectrales
- ▶ 8/9 - Entrega cuestionario 1
- ▶ 9/9 - Correcciones radiométricas
- ▶ 15/9 - Entrega cuestionario 2
- ▶ 16/9 - Índices
- ▶ 22/9 - Entrega cuestionario 3
- ▶ 23/9 - Rotaciones
- ▶ 29/9 - Entrega cuestionario 4
- ▶ 30/9 - Clase de consulta
- ▶ 6/10 - Entrega primer trabajo práctico



Cronograma - Parte 2

- ▶ 7/10 - Clasificaciones supervisadas
- ▶ 13/10 - Entrega cuestionario 5
- ▶ 14/10 - Clasificaciones no supervisadas
- ▶ 20/10 - Entrega cuestionario 6
- ▶ 21/10 - Técnicas de pos-clasificación
- ▶ 27/10 - Entrega cuestionario 7
- ▶ 28/10 - Clase de consulta
- ▶ 3/11 - Entrega segundo trabajo práctico



Urgente

Todo el material va a estar en

`https://sopi.conae.gov.ar/aulavirtual`

con la contraseña de matriculación

`tordo2016`

Importante

Acá se completan los cuestionarios y los trabajos prácticos.



Notas

- ▶ 0 - 99 - No aprobó
- ▶ 100-109 - Seis
- ▶ 110-129 - Siete
- ▶ 130-169 - Ocho
- ▶ 170-189 - Nueve
- ▶ 190-200 - Diez



Como sumar puntos

- ▶ Cada cuestionario: 0 a 10 puntos. Máximo 70.
- ▶ Cada tarea: 0 a 50 puntos. Máximo 100.
- ▶ Participar en la plataforma: 0 a 10 puntos. Sin máximo.
 - ▶ Hacer preguntas interesantes.
 - ▶ Contestar preguntas.
 - ▶ Editar artículos en la wiki.
 - ▶ Hacer aportes.
 - ▶ Compartir datos de campo.
 - ▶ Encontrar la respuesta a la última pregunta sobre la vida, el universo y todo lo demás.



Definición

Hablaremos de teledetección cuantitativa en el espectro óptico cuando queramos obtener valores numéricos concretos a partir de la utilización de imágenes obtenidas en la región entre los $0,4\mu m$ y los $14\mu m$.



Esquema de presentación

Organización del curso

Objetivos, programa y cronograma

Aprobación del curso

Radiación

Firmas espectrales

Espacio espectral

Práctica



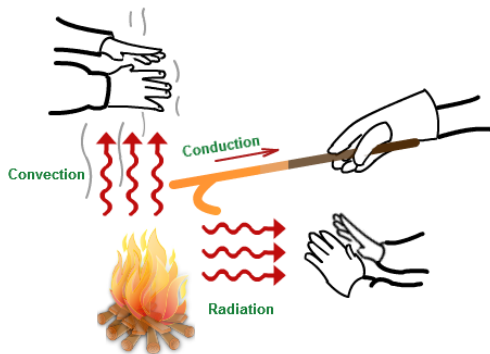
Definición

Energía es la capacidad de hacer trabajo... ponele.



Energía

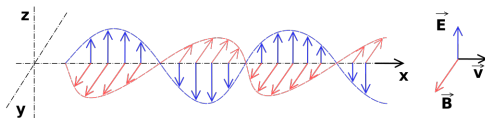
Es mas fácil hablar de las formas de propagación



Formas de transferencia de energía calor.



Energía electromagnética



De las 3, nos vas a interesar la radiación. En particular la radiación electromagnética.¹

¹Wikipedia. *Onda electromagnética*. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Onde_electromagnetique.svg. [Internet; descargado 1-Septiembre-2016]. 2007.



Onda electromagnética

Definición

La longitud de onda es la distancia entre dos máximos.

Definición

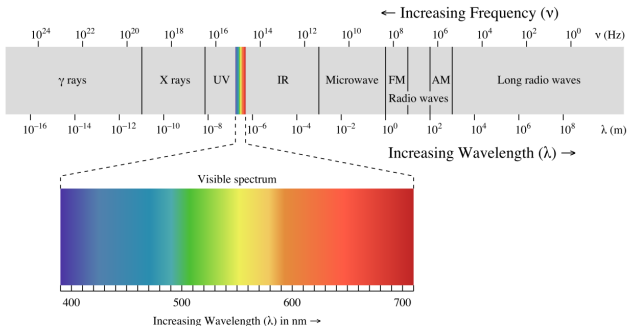
La frecuencia es la cantidad de oscilaciones que realiza la onda por unidad de tiempo.

Definición

La amplitud es el máximo valor posible que toma la onda.



Clasificación



Las ondas electromagnéticas se pueden clasificar en función de su longitud de onda en el espectro electromagnético.²

²Wikipedia. *Espectro Electromagnético*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_spectrum.svg. [Internet; descargado 1-Septiembre-2016]. 2007.



La energía va a tener un problema como magnitud para medir porque la energía que recibo depende del tiempo en que la recibo. Veamos como mejorarlo.



Definición

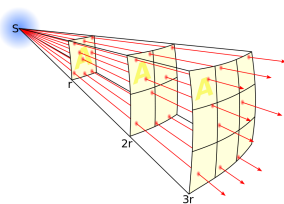
La potencia es la tasa de variación de energía. Es decir

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (1)$$



Densidad de potencia

Veamos ahora que pasa con la potencia a medida que nos alejamos de una fuente.



La potencia total en cualquier esfera tiene que ser la misma.³

³Wikipedia. *Inverse square law*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverse_square_law.svg. [Internet; descargado 1-Septiembre-2016]. 2008.



Definición

Definimos la *densidad de potencia* como la cantidad de energía electromagnética que atraviesa una superficie de área A en un determinado tiempo

$$p = \frac{\Delta E}{\Delta t A} \quad (2)$$

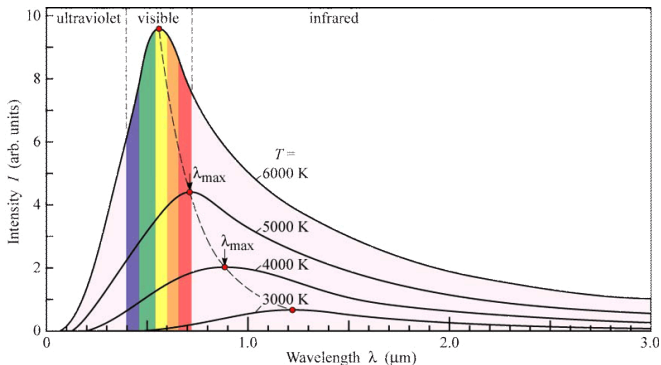
Observación

- ▶ A esta magnitud se la suele llamar *irradiancia* en teledetección.
- ▶ $[E_\lambda] = Wm^{-2}\mu m^{-1}$



Irradiancia espectral

Por ahora venimos trabajando con la densidad de potencia total. Pero uno puede preguntarse cuanta energía llegar de cada longitud de onda en el sol.



Curva de radiancia de un cuerpo negro.



Radiación de cuerpo negro

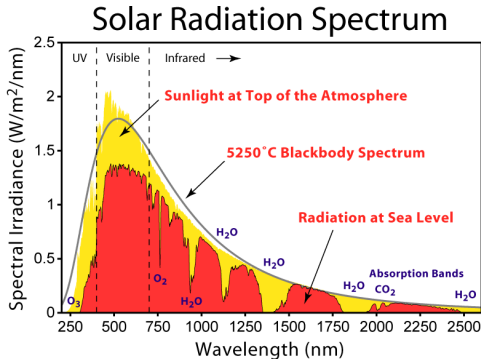
Para un cuerpo negro ideal

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \quad (3)$$



Irradiancia espectral

Si miramos ahora lo que llega a la tierra.



Irradiancia solar a tope de la atmósfera.⁴

⁴Wikipedia. *Solar Spectrum*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_Spectrum.png. [Internet; descargado 1-Septiembre-2016]. 2007.



Valores de irradiancia espectral

$$\text{En } [E_{0,i}] = \frac{W}{m^2 \mu m}$$

Banda	ETM+	TM	OLI
1	1970	1954	1925
2	1843	1826	1826
3	1555	1558	1574
4	1047	1047	955
5	227.1	217.2	242
7	80.53	80.29	82.5



Irradiancia espectral

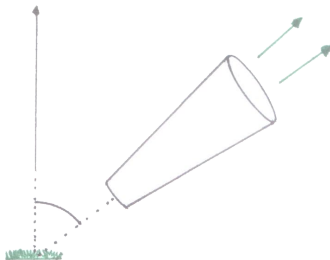
Definición

Llamamos irradiancia espectral a la distribución de irradiancia en función de la longitud de onda.



Radiancia

El último paso será ver como se comporta la irradiancia en función del ángulo.



Cono de radiación.



Definición

La radiancia será la irradiancia por unidad de ángulo solido

$$L = \frac{p}{\Delta\Omega \cos \theta_z} \quad (4)$$



- ▶ La irradiancia será lo que medirán los sensores.
- ▶ Depende del ángulo.
- ▶ Al igual que la irradiancia tiene nos interesara su dependencia espectral.
- ▶ $[L_\lambda] = Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$



Definición

Llamaremos *radiancia espectral* a la magnitud L_λ tal que

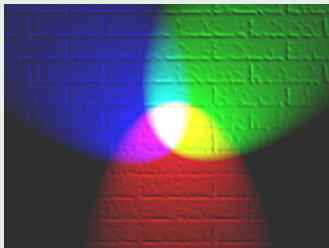
$$dE = L_\lambda(\theta, \phi) \cos(\theta) d\Omega dA dt d\lambda \quad (5)$$



Reflectancia

La radiancia no es una buena característica para definir a un cuerpo.

Ejemplo



Hojas bajo distintas iluminaciones.⁵

⁵Wikipedia. *RGB illumination*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RGB_illumination.jpg. [Internet; descargado 1-Septiembre-2016]. 2007.



Esquema de presentación

Organización del curso

Objetivos, programa y cronograma

Aprobación del curso

Radiación

Firmas espectrales

Espacio espectral

Práctica



Queremos calcular el cociente de la radiancia saliente de una cobertura sobre la radiancia incidente.

Definición

Definimos la *BRDF* (espectral bidirectional reflectance distribution function) como:

$$f(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) = \frac{dL(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r)}{dE(\theta_i, \phi_i)}$$



Definición

Definimos la reflectancia direccional como:

$$R(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) = \frac{\pi L(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r)}{\cos(\theta_i) E_0} = \pi f(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) \quad (6)$$

Donde θ y ϕ son los ángulos zenitales y azimutales respectivamente.



Ejemplo



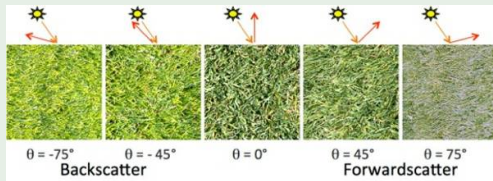
Un parque.⁶

⁶Andreas Hüni y Mathias Kneubühler. *Introduction to BRDF effects*.

<http://www.geo.uzh.ch/en/units/rsl/research/spectroscopy-spectrolab/research-fields/spectrodirecional-data-analysis/brdf-effects/>. [Internet; descargado 1-Septiembre-2016]. 2008.



Ejemplo

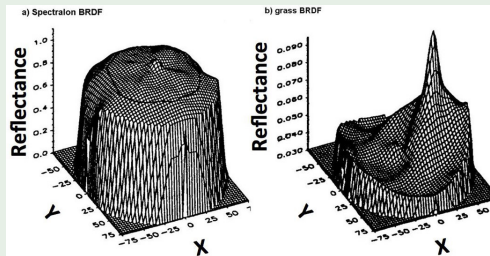


Pasto bajo distintas iluminaciones.⁷

⁷Andreas Hüni y Mathias Kneubühler. *Introduction to BRDF effects*.
<http://www.geo.uzh.ch/en/units/rsl/research/spectroscopy-spectrolab/research-fields/spectrodirecional-data-analysis/brdf-effects/>. [Internet; descargado 1-Septiembre-2016]. 2008.



Ejemplo

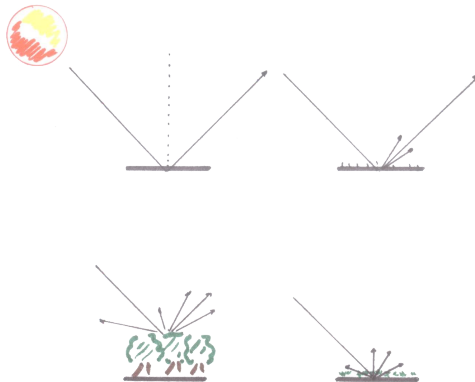


Reflectancia del pasto en función del ángulo zenital y asimutal.⁸

⁸Frank O Clark y col. *Passive optical detection of a vibrating surface*. Inf. téc. SPECTRAL SCIENCES INC BURLINGTON MA, 2014.



Reflectancia direccional



En general podemos clasificar la reflectancia en función de que tan fuertemente depende del ángulo.



Definición

Hablamos de la aproximación *especular* cuando la reflectancia es una delta del ángulo.

Definición

Hablamos de la aproximación *lambertiana* cuando la reflectancia no depende del ángulo.



Importante

En el curso vamos a trabajar en la aproximación Lambertiana. Esto es solo una aproximación que simplifica y mucho el problema.



Definición

En la aproximación lambertiana definimos la *reflectancia* como

$$\rho = \frac{\pi L}{\cos \theta_z E_0} \quad (7)$$



Importante

La reflectancia depende solo de la superficie que estamos mirando.



Si ahora pensamos como depende la reflectancia de la longitud de onda podemos definir

Definición

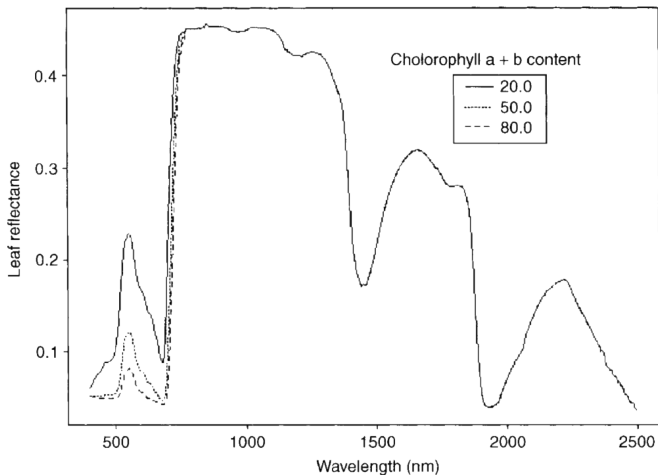
Llamamos firma espectral a la función de la reflectancia como función de la longitud de onda, ρ_{λ} .

Veamos algunos ejemplos y de por que sirven para describir a las coberturas.

- ▶ Vegetación
- ▶ Suelo
- ▶ Agua



Firma espectral - vegetación

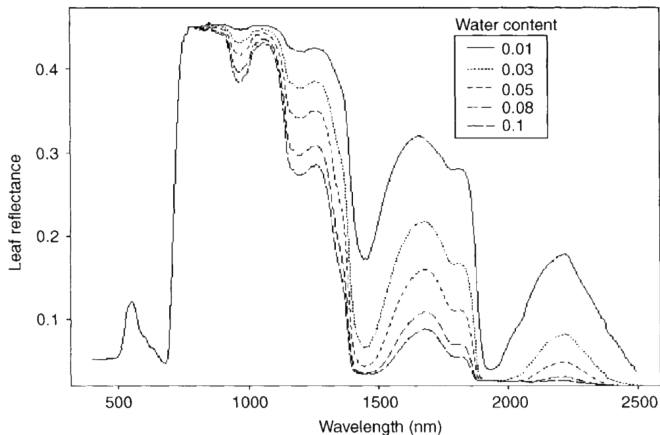


Variaciones de la firma espectral con el contenido de clorofila.⁹

⁹Shunlin Liang. *Quantitative remote sensing of land surfaces*. Vol. 30. John Wiley & Sons, 2005.



Firma espectral - vegetación

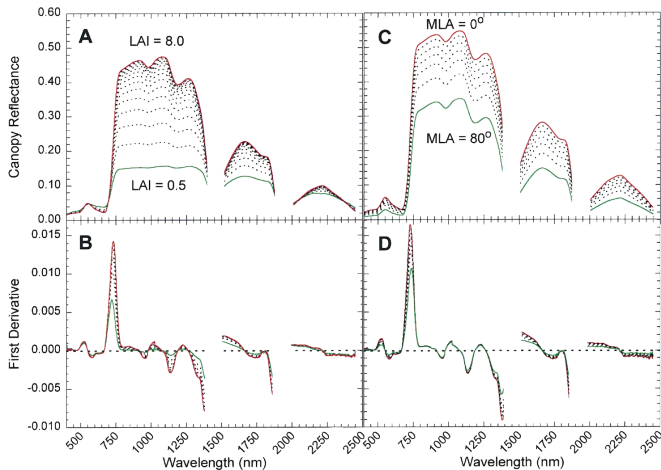


Variaciones de la firma espectral con el contenido de agua.¹⁰

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



Firma espectral - vegetación

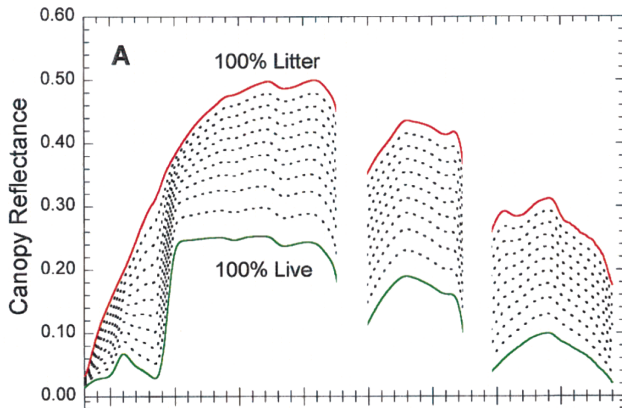


Variaciones de la firma espectral con el área foliar.¹¹

¹¹Gregory P Asner. "Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance". En: *Remote sensing of Environment* 64.3 (1998), págs. 234-253.



Firma espectral - vegetación

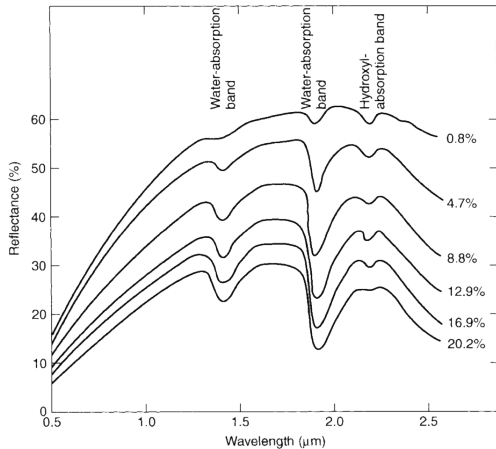


Firma espectral de la vegetación en diferentes estados.¹²

¹²Gregory P Asner. "Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance". En: *Remote sensing of Environment* 64.3 (1998), págs. 234-253.



Firma espectral - suelo

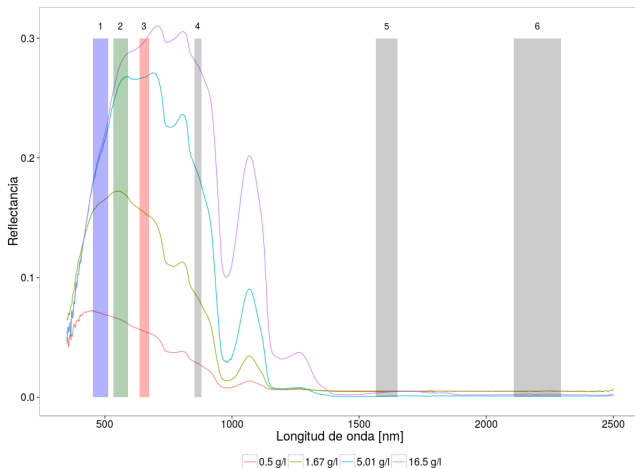


Firma espectral del suelo con distintos contenidos de humedad.¹³

¹³Shunlin Liang. *Quantitative remote sensing of land surfaces*. Vol. 30. John Wiley & Sons, 2005.



Firma espectral - agua

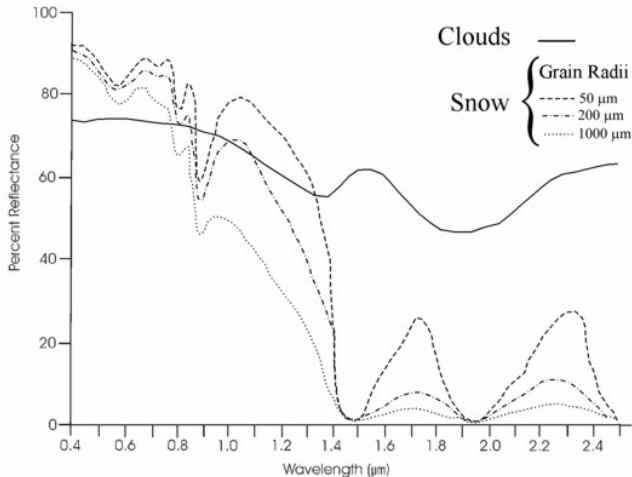


Firma espectral de agua con distinto contenido de arcilla disuelta.¹⁴

¹⁴Roger Nelson Clark y col. *USGS digital spectral library splib06a*. 2007.



Firma espectral - agua



Firma espectral de agua en distintos estados de agregación.¹⁵

¹⁵S. Farooq. *Spectral Reflectance of Land Covers*. <http://www.geol-amu.org/notes/mir-1-8.htmg>. [Internet; descargado 1-Septiembre-2016].



Esquema de presentación

Organización del curso

Objetivos, programa y cronograma

Aprobación del curso

Radiación

Firmas espectrales

Espacio espectral

Práctica



Discretización de la firma espectral

Hasta ahora la firma espectral es continua. Estudiemos que le pasa cuando el sensor la mide.

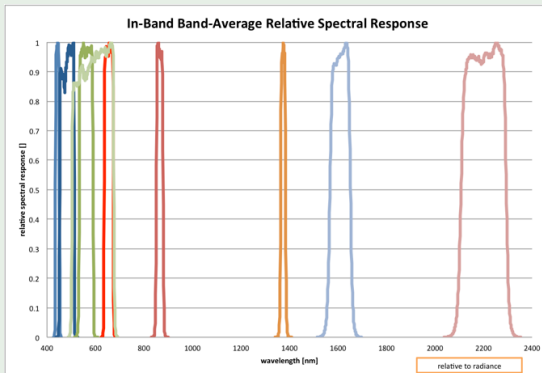


Definición

Hablamos de la *respuesta espectral de un sensor* cuando hablamos de como mide la luz que le llega al mismo en el dominio espectral.



Ejemplo



Respuestas espectrales de las bandas de Landsat 8.¹⁶

¹⁶ Julia A Barsi y col. "The spectral response of the Landsat-8 operational land imager". En: *Remote Sensing* 6.10 (2014), págs. 10232-10251.



Matematicamente, cuando un sensor mide la luz reflejada por un parche en el suelo esta haciendo un promedio pesado. Es decir:

Definición

El valor de brillo tomado por un sensor esta dado por

$$L_j = \frac{\int s_j(\lambda) L_\lambda d\lambda}{\int s_j(\lambda) d\lambda}. \quad (8)$$

esto para cada una de las N bandas de un sensor.



Observación

- ▶ El centro y el semi-ancho de un filtro nos permiten definir el centro de la banda y la correspondiente resolución espectral de la misma.
- ▶ En conclusión, al terminar el día la firma espectral queda discretizada según el número de bandas que usemos.



Cada píxel va a tener asociado distintos valores de brillo, uno por banda de adquisición.

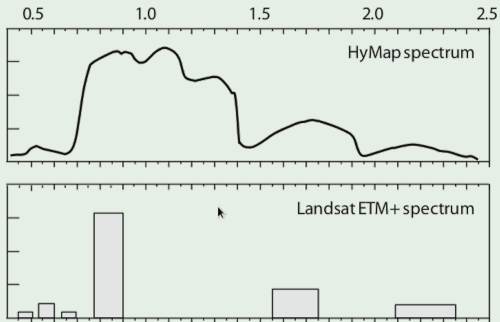
Definición

Hablamos de un vector píxel al vector construido como

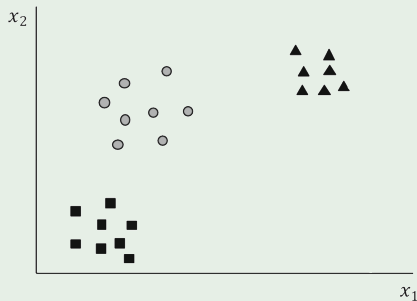
$$p = (\rho_1, \dots, \rho_N) \quad (9)$$



Ejemplo



Ejemplo



Espacio espectral con 3 componentes y dos bandas.¹⁷

¹⁷ John A Richards. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer, 2013.



Definición

Llamaremos *espacio espectral* al espacio donde viven todos los vectores píxeles.



Esquema de presentación

Organización del curso

Objetivos, programa y cronograma

Aprobación del curso

Radiación

Firmas espectrales

Espacio espectral

Práctica



Actividades prácticas de la primera clase

1. Abrir imágenes Landsat 8 y familiarizarse con el SoPl.
2. Digitalizar coberturas uniformes dentro de la imagen.
3. Extraer la firma espectral de las coberturas digitalizadas.

