

¿Que es?

Correlacionar o 'mapear' la respuesta en contajes (digital numbers=DN) del instrumento, con respecto a la energía realmente recibida por el sensor (la cual se expresa en alguna unidad representativa)

✓ Cual es la hipótesis? La relación entre la respuesta del sensor y la **energía** que llega a el es **lineal**, $X = A \cdot L + B$. Sin embargo no siempre es así. Existen casos donde aparecen otros términos no lineales. El valor de **contaje** registrado para cada pixel resulta entonces de...

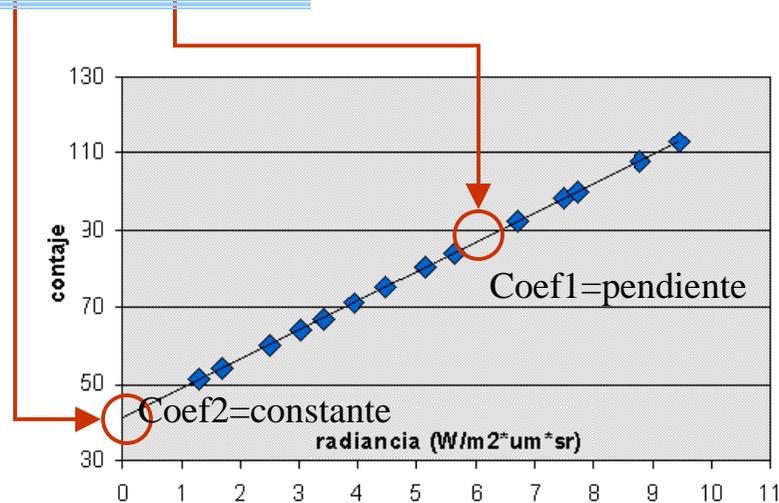
Donde, **i** es el número de canal, **C₀** es la constante, esto es, el valor de contaje que corresponde a la respuesta del instrumento cuando la radiancia es cero. **L_i** es la radiancia uqe llega al instrumento, y **g_i** es la pendiente, esto es, la cantidad de contajes por unidad de cambio de radiancia

✓ Entonces, cuando calibramos una imagen satelital realizamos el proceso inverso... obtenemos los valores de radiancia a partir de los contajes mediante los coeficientes de calibración



$$\bar{L}_i = \frac{(C_i - C_{0i})}{g_i}$$

$$C_i = C_{0i} + g_i \cdot \bar{L}_i$$



- *prelanzamiento >> Ej: Landsat, AVHRR (canales opticos)
- *en el satélite (a bordo) >> Landsat, AVHRR (canales térmicos)
- *corregidos en tierra << AVHRR (canales opticos)



Radiancias e Irradiancias

El sensor responde a la **energía** que recibe, Cómo puedo expresar esta energía?

>>> Si se trata de el flujo total de energía o **irradiancia** que incide sobre la superficie terrestre >> Watts/m²

>>> Si se trata de la energía que detecta el ojo, una cámara u otro dispositivo nos referimos a **radiancias** ya que se incluye la distribución angular de la radiación >> Watts/m²*str relac-ang.

>>> Si tanto irradiancia como radiancia se miden en función de λ , entonces tenemos varias maneras de referir las radiancias...

a) total irradiance	Watts/m ²
b) spectrally resolved irradiance	Watts/m ² /micron
c) total radiance	Watts/m ² /steradian
d) spectrally resolved radiance	Watts/m ² /steradian/micron

Entonces, el instrumento responde a la radiancia que llega a él integrada sobre la banda espectral del canal en cuestión

Radiancia al tope de atmósfera, $\bar{L}_i = \int_0^{\infty} d\lambda \phi_i \cdot L(\lambda)$

$W m^{-2} sr^{-1}$

Función de respuesta espectral del instrumento

Radiancia espectral recibida

Y en general se define una radiancia espectral media sobre la base de la radiancia medida...

Radiancia espectral media al tope de atmósfera

$W m^{-2} \mu m^{-1} sr^{-1}$

$$L_i = \frac{\bar{L}_i}{\omega_i}$$

ancho efectivo espectral del canal

espectro.

Reflectancias

La **reflectancia** es básicamente un cociente de irradiancias (flujos de energías), siendo el numerador (L_i) la energía que recibe el sensor y el denominador (F_i) la que llega a la Tierra al tope de la atmósfera. El coseno del ángulo cenital solar (θ) incorpora el efecto del ángulo de incidencia de la luz solar sobre la Tierra. Si toda la energía incidente se reflejara hacia el sensor, entonces el valor de R_i sería igual a...?, el 100 se incorpora entonces a la ecuación para obtener valores en porcentaje de radiación reflejada.

Reflectancia direccional al tope de atmósfera,

$$R_i = \frac{100 \cdot \pi \cdot \bar{L}_i}{\bar{F}_i(r) \cdot \cos \theta}$$

relac-ang.

Suponiendo que el ángulo cenital permaneciera constante para todas las imágenes tomadas durante un año... el valor de R_i aún variaría...?

Si!, debido a que la Tierra describe una órbita en forma de elipse y no de círculo alrededor del sol!. La variación estacional de la energía solar incidente al tope de la atmósfera terrestre se encuentra contemplada en la ecuación de F_i (donde AU=unidades astronómicas)

$$\bar{F}_i(r) = \frac{\bar{F}_i(1AU)}{r^2}$$

¿Que es?

corregir atmosféricamente...

tratar de remover o minimizar la contribución de radiancias que no corresponden a energía solar incidente sobre el target, así como el efecto de absorción de la energía por parte de la atmósfera

Básicamente...

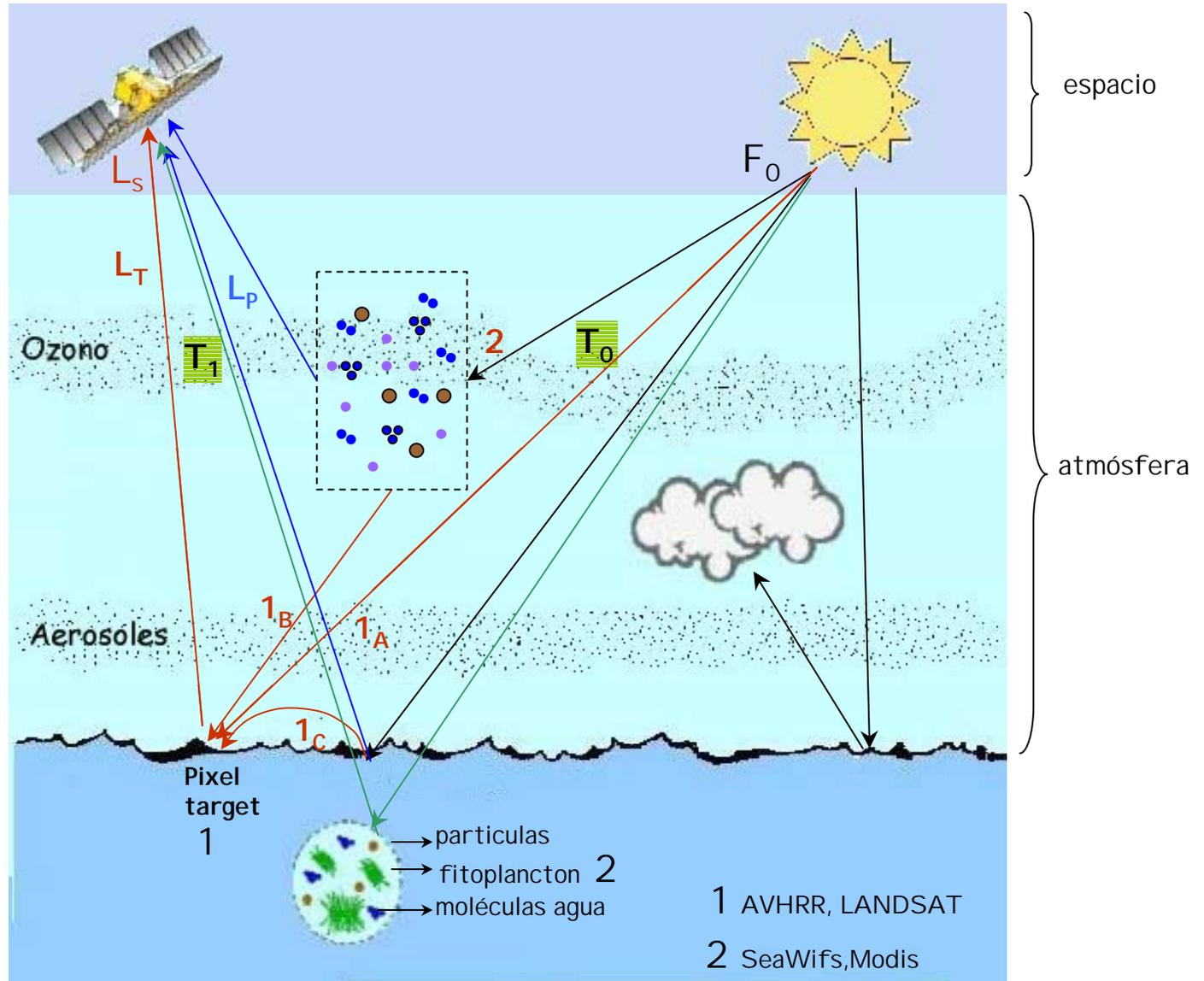
$$L_s = L_T + L_p - L_{abs}$$

Radiancia total registrada por el sensor

Radiancia que llega desde el pixel target
 $L_{1A} - L_{1B} - L_{1C}$

Radiancia adicional proveniente de diferentes lugares, ó PATH RADIANCE

- partículas
- Ozono (O₃)
- Oxígeno (O₂)
- Aire



1 AVHRR, LANDSAT
 2 SeaWifs, Modis



Radiancias y constantes de la figura anterior

- 1_A Energía electromagnética que proviene del sol y que ha sido muy poco atenuada antes de llegar al pixel target.
- 1_B Energía del sol que sufre algún tipo de dispersión (Rayleigh, Mie ó no selectiva) y posiblemente algo de absorción y re-emisión en su camino hacia la superficie terrestre a través de la atmósfera. Como consecuencia de estos procesos incide sobre el pixel target, ya que su dirección inicial era otra.
- 1_C Energía del sol que incide directamente sobre pixeles vecinos al pixel target. Esa energía es reflejada hacia la atmósfera y entonces es dispersada o reflejada por la atmósfera hacia el pixel target.
- 2 Energía del sol que puede no alcanzar nunca la superficie terrestre porque es dispersada y absorbida por la atmósfera. Desafortunadamente, parte de la energía es dispersada a menudo dentro del campo de vista (FOV) del sensor (energía Lp)

Transmitancia atmosférica:

T_0 } En ausencia de atmósfera, la energía solar que llega a la superficie terrestre sería del 100%. No obstante, debido a la absorción y dispersión (scattering) que ocurre debido a los componentes de la atmósfera, no toda la energía que penetra en la atmósfera efectivamente alcanza la superficie terrestre. La proporción que efectivamente lo hace se denomina "transmitancia atmosférica", y se computa como,

T_1 }

Transmitancia desde el Sol al pixel target

$$T_0 = e^{-\tau / \cos \theta_{sol}}$$

↓
Angulo Cenital Solar (ACeSol)

relac.-ang.

Transmitancia desde el pixel target al Satélite

$$T_1 = e^{-\tau / \cos \theta_{sat}}$$

↓
Angulo Cenital Satelital (ACeSat)

Espesor óptico atmosférico (Atmospheric Optical Thickness, Optical Depth): τ

Da una medida de cuan opaca es la atmósfera a la radiación electromagnética que pasa a través de ella, y aumenta a medida que aumenta la distancia entre el target y el tope de la atmósfera. A ciertas longitudes de onda (λ), puede computarse como la suma de todos los coeficientes de atenuación, los cuales están compuestos principalmente por...

$$\tau(\lambda) = \tau_r + \tau_m + \tau_{as}$$

Dispersión de Rayleigh

τ_r Ocurre cuando el diámetro (d) de las moléculas de gas es menor que el tamaño de la longitud de onda incidente ($d < \lambda$). La radiancia de Rayleigh es inversamente proporcional a la 4ta potencia de la longitud de onda, esto es, $\text{rayleigh} = 1/\lambda^4$. (Figura 1)

LANDSAT 7 ETM

banda	λ	λ_{central}	rayleigh
1	0.45-0.52	0.483	18
2	0.53-0.61	0.565	10
3	0.63-0.69	0.660	5
4	0.75-0.90	0.825	2

Dispersión de Mie

τ_m (Aerosoles). Ocurre cuando ($d \approx \lambda$) y es primariamente una función del vapor de agua, polvo y otras partículas de la atmósfera. (Figura 2)

Absorción Atmosférica selectiva

τ_{as} La absorción selectiva de energía por parte de la atmósfera es longitud de onda dependiente. (Figura 3)

$$\tau_{as} = \tau_{H_2O} + \tau_{O_2} + \tau_{O_3} + \tau_{CO_2}$$

uno de los problemas es obtener la transmitancia de los componentes atmosféricos para la atmósfera correspondiente a la fecha de toma de la imagen. Por eso, en general se toman atmósferas genéricas para las cuales están ya calculados estos coeficientes para cada banda



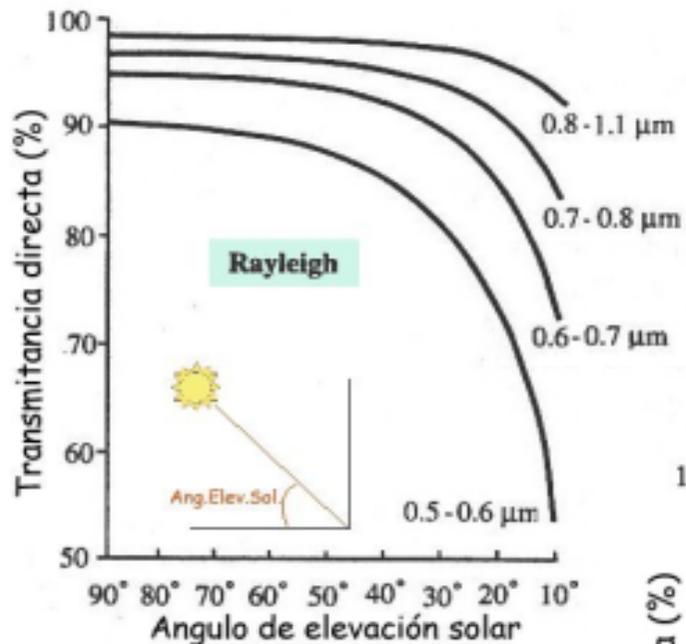


Figura 1: ↑

Transmitancia atmosférica en función de la dispersión por Rayleigh y el ángulo de elevación solar.

$\text{Ang. Elev. Sol.} = 90 - \text{ACeSo}$

El scattering de rayleigh es mas importante para las bandas ubicadas en la región visible del espectro

Figura 2:

Transmitancia atmosférica en función de la dispersión por Mie (aerosoles) y el ángulo de elevación solar.

$\text{Ang. Elev. Sol.} = 90 - \text{ACeSo}$

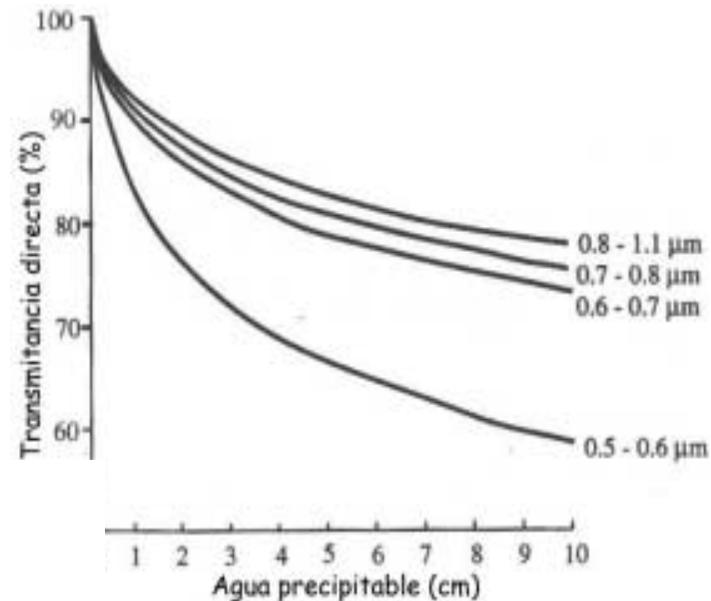
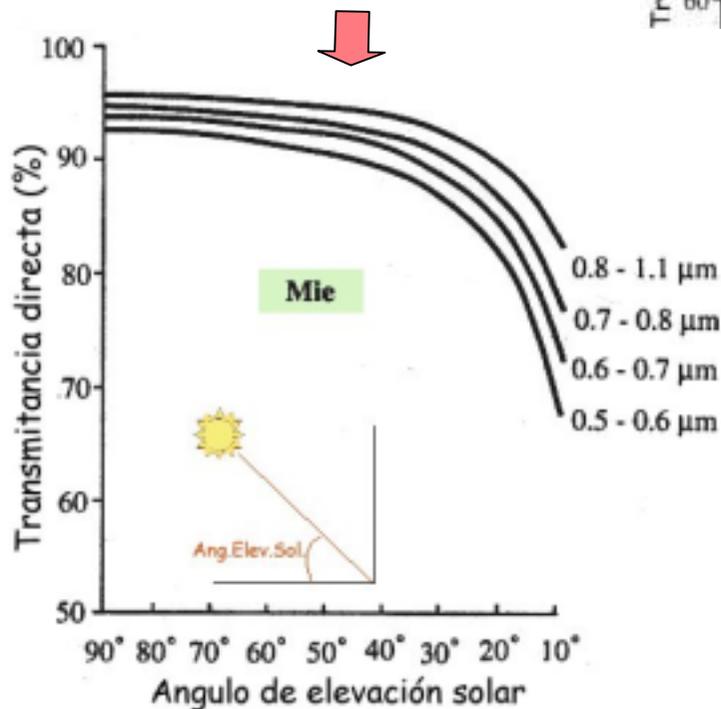


Figura 3: ↑

Transmitancia atmosférica en función del contenido de agua precipitable presente en la atmósfera

Dark object subtraction:

Los espesores ópticos (τ) debidos a la dispersión molecular (Rayleigh) pueden ser computados de una manera mas o menos directa. Para el caso de LANDSAT, las bandas están localizadas en una región del espectro que no es afectada drásticamente por la absorción gaseosa atmosférica, y por ello los modelos estándares realizan un cálculo razonable de los valores de transmitancia de los distintos gases para fines de corrección atmosférica (Esto. Sin embargo, la dispersión por aerosoles (Mie) representa un problema mas complejo a la significativa variabilidad espacial y temporal de los aerosoles atmosféricos.

El método de **dark object subtraction** es utilizado por muchos modelos de corrección atmosférica para la estimación de la cantidad de aerosoles debido a que los valores para corrección se obtienen a partir de la misma imagen a ser corregida, y no es necesaria ninguna otra información sobre las condiciones atmosféricas. Básicamente, parte del hecho de que ciertas superficies de la imagen actúan como objetos oscuros. Es decir, la energía que llega al sensor en ciertas bandas del espectro debería ser casi nula en esas superficies, siendo la energía recibida en el **espectro visible** e **infrarrojo cercano** una contribución de la atmósfera y no del target. Los pixeles de la imagen que corresponden a objetos oscuros son de alguna manera un indicador de la cantidad de path radiance, que incluye los componentes atmosféricos de radiación y los correspondientes a pixeles vecinos.

Ahora bien, suponiendo que se ha efectuado una corrección sobre los datos de la imagen debido a los restantes efectos atmosféricos (rayleigh, pixeles vecinos, etc.), el valor de radiancia obtenida para los pixeles que actúan como objetos oscuros puede asumirse como debida a los aerosoles presentes en la atmósfera en el momento de adquisición de la imagen.

El espesor óptico de aerosoles puede ser estimado entonces considerando como objetos oscuros zonas con vegetación verde densa, lagos de agua clara, y/o zonas sombreadas. En el océano por su parte, pueden utilizarse zonas de aguas claras lejos de la costa.

En sus primeras versiones, este método implicaba la simple sustracción de los valores "mas oscuros" a todos los pixeles de la imagen como una manera de corrección atmosférica. Una metodología más refinada resultó posteriormente en usar un modelo de transferencia radiativa que permitiera determinar el espesor óptico de aerosoles que genera el valor de radiancia observado en el dark object.

Resumiendo...

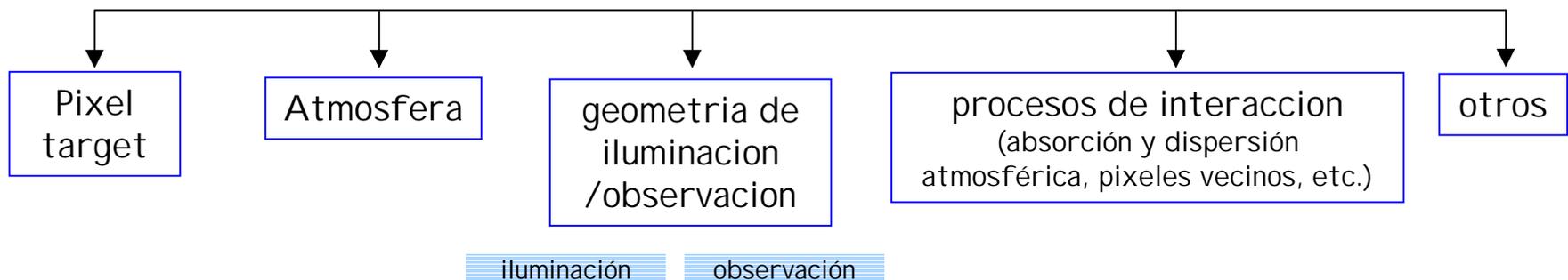
$$R_{TOA} = 100 \cdot \pi \cdot \frac{L_{TOA}}{F_{TOA} \cdot \cos \theta_{sol}}$$

Reflectancia Direccional al Tópe de la Atmósfera (TOA). No tenemos en cuenta los efectos atmosféricos (ni la posición del sensor para satélites con gran ancho de barrido como el NOAA, MODIS, SAC-C, etc.)

para que nos interesa corregir atmosféricamente las imágenes?

- ✓ Porque queremos caracterizar los distintos tipos de superficie presentes en la imagen mediante la cuantificación de la parte de la energía incidente que se ha reflejado en ellas. Esto se mide en función de la longitud de onda y esta medición se denomina reflectancia espectral.
- ✓ Para ello debemos tratar de eliminar el efecto atmosférico de las imágenes, de manera que los valores de reflectancia obtenidos en distintas imágenes para una misma superficie (una serie temporal de un tipo de cobertura vegetal por ejemplo) respondan a los cambios estacionales propios de la superficie y no a efectos adicionales.

✓ Componentes y procesos



✓ Ecuaciones generales

$$R_{SURF} = 100 \cdot \pi \cdot \frac{L_T}{F_T}$$

Reflectancia Direccional en superficie. Tenemos en cuenta todos los pasos necesarios (posiciones angulares del sol y el sensor en relación con el target, dispersiones y absorción atmosférica). Es realmente representativo de la energía reflejada por el target... pero mucho más difícil de obtener!!

$$L_T = L_S - L_P + L_{abs}$$

Coef. De calibrac.

$$F_T = F_{TOA} + L_{scat\ atm} - L_{abs} + L_{pix\ ady}$$

Transmitancia atmosférica desde el sol al target es función de... $T_0 \left[\tau(\lambda) = \tau_r + \tau_m + \tau_{as}, \cos\theta_{sol} \right]$

Transmitancia atmosférica desde el sensor al target es función de... $T_1 \left[\tau(\lambda) = \tau_r + \tau_m + \tau_{as}, \cos\theta_{sat} \right]$

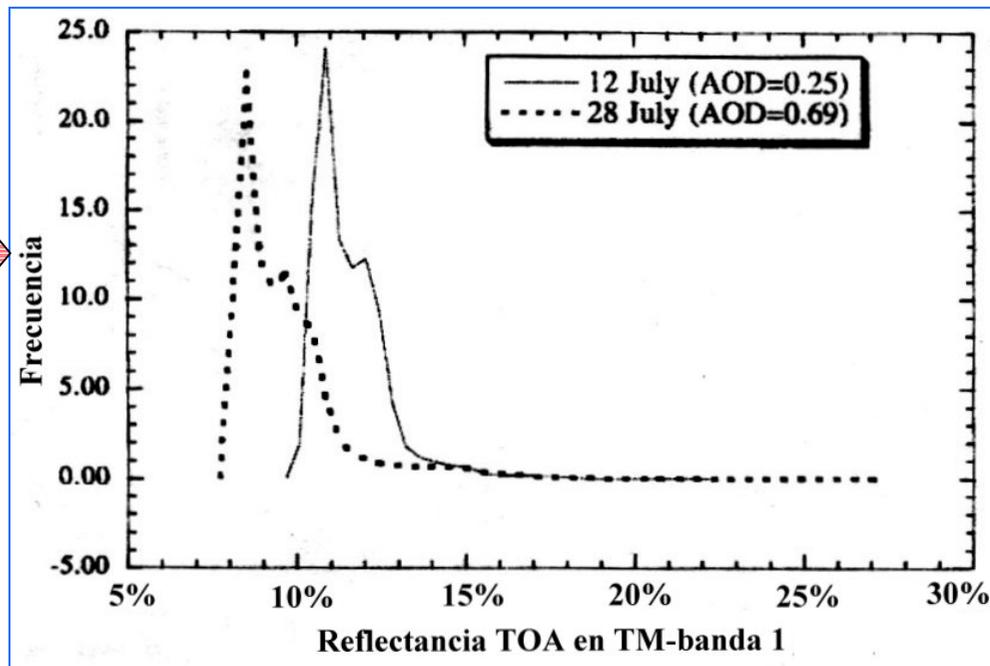
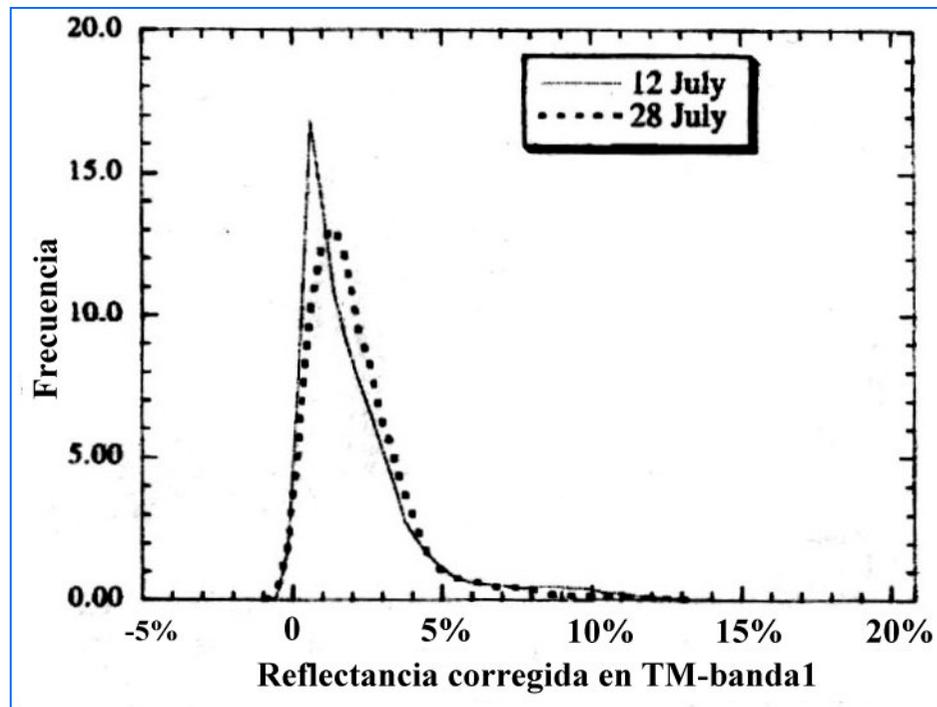
✓ Los modelos sencillos asumen lo siguiente:

- interacciones simples y no múltiples.
- la contribución de la atmósfera como reflector (path radiance) se añade a la del target
- la atmósfera como atenuador se expresa mediante un factor multiplicativo

✓ El resultado esperado:

H. Quadrari & E. Vermote (1999), "Operational Atmospheric correction of Landsat TM Data" Rem.Sen.Env. 70:4-15

Imagen original, Reflectancias TOA
 La imagen del 12-jul corresponde a un día nuboso,
 la imagen del 28-jul corresponde a un día claro.



← Imagen corregida atmosféricamente

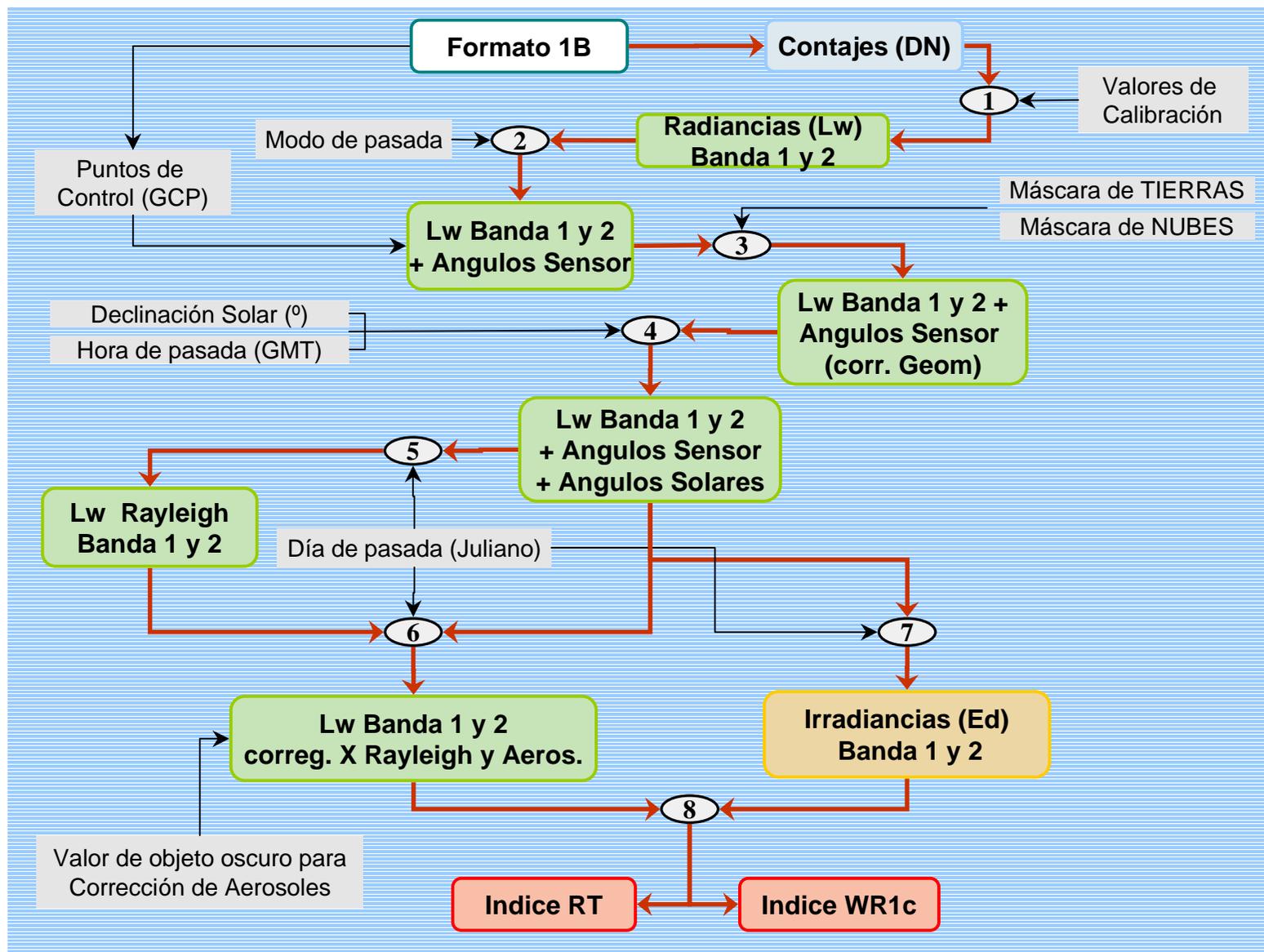
[Volver ESQUEMA](#)

Un Ejemplo:

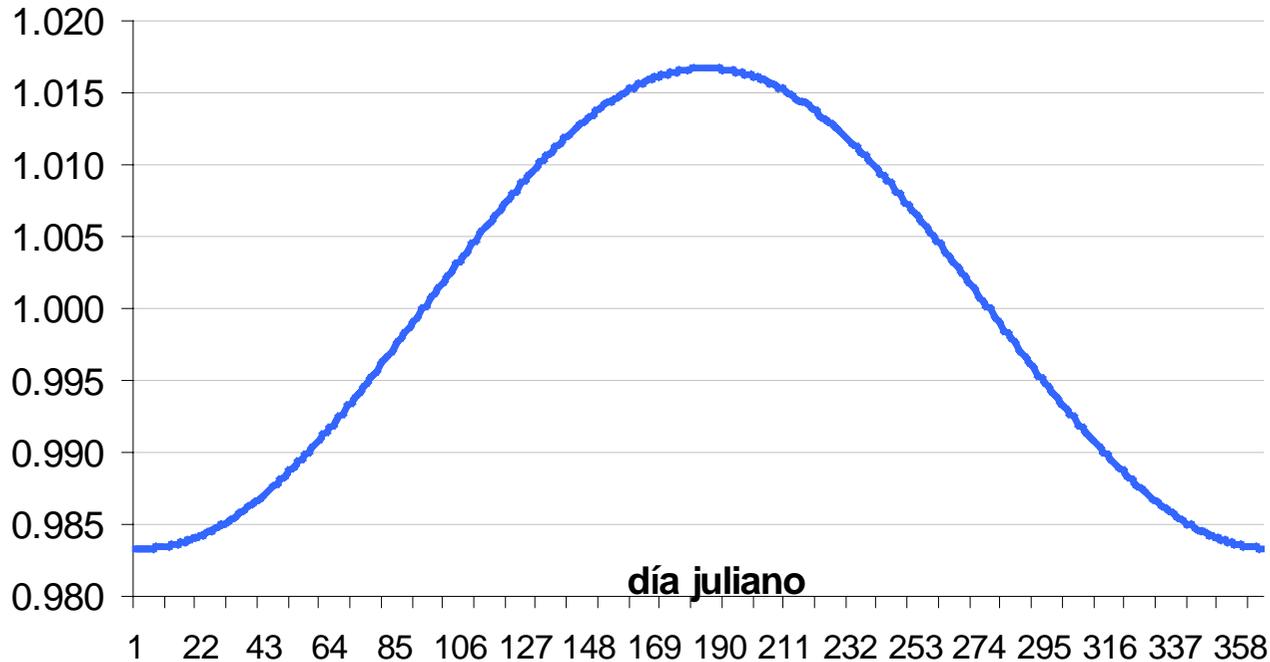
Para el AVHRR...

en el mar...

Siguiendo una metodología aproximada a la descrita por Stumpf & Pennock (1989) y Stumpf (1992)



Distancia Tierra-Sol



Tiene en cuenta las variaciones estacionales en la energía solar incidente sobre la superficie terrestre debido a la variación en la distancias Tierra-Sol

(1) Stumpf (1992). "Remote Sensing of Water clarity and suspended sediments in coastal waters". Ist. thamtic conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Enviroments. New Orleans, Louisiana, USA, 15-17 June 1992.

$$dTS = 1 - 0.0167 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (\text{día juliano} - 3) / 365)$$

(2) Tesis doctoral de Laura Frulla (FCEN-UBA) (1992)

$$dTS = 1 - 0.01673 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (\text{dia juliano} - 1) / 365)$$

(3) Rao & Chen. Revised calibration NOAA-14 AVHRR Channels 1 and 2. (1999). Disponible en... <http://psbsgi1.nesdis.noaa.gov:8080/EBB/ml/niccal1.html>

$$dTS = 1 - 0.01673 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (\text{dia juliano} - 1) / 365)$$



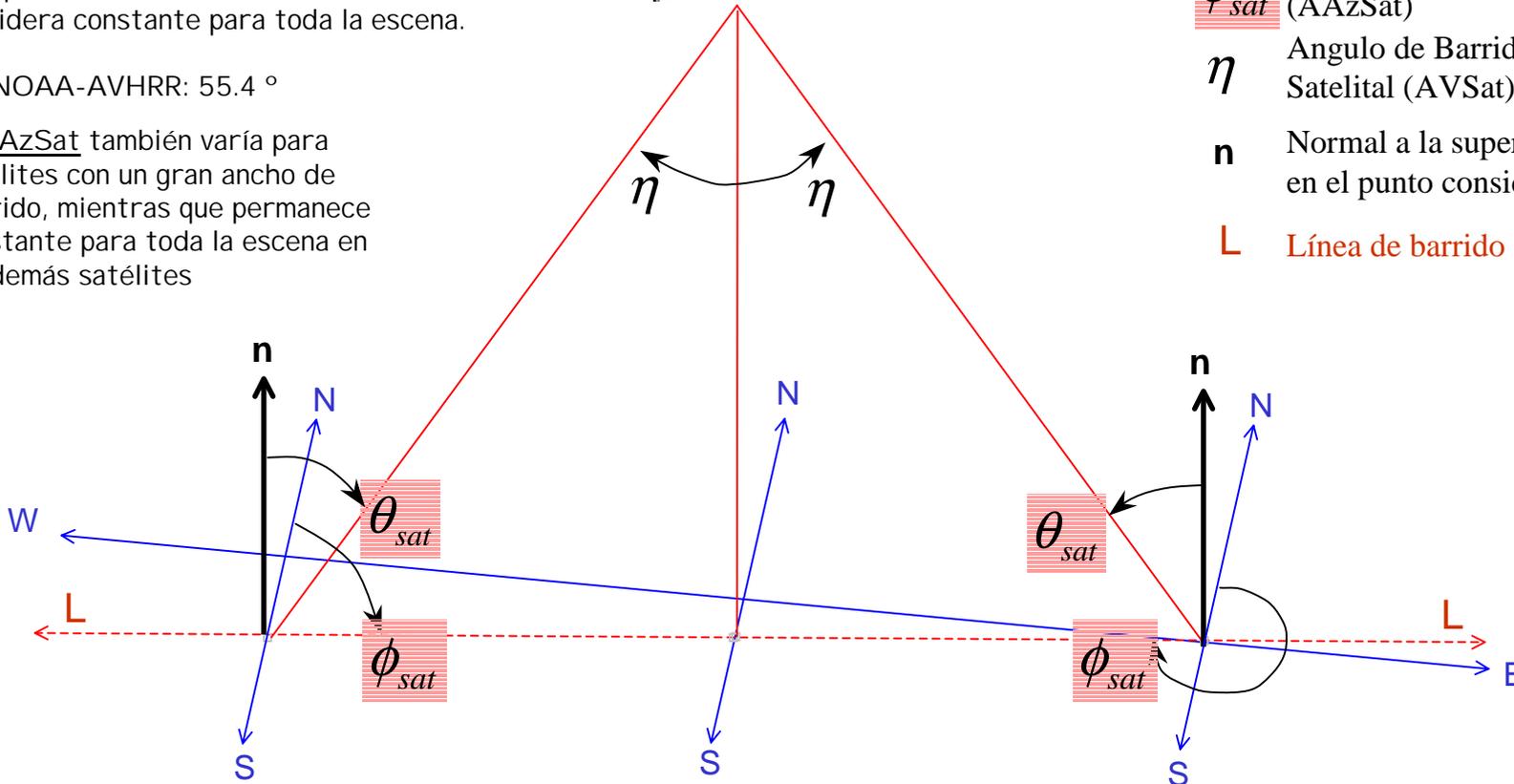
Geometría de Observación

Modificado de Frulla (1992)

El **ACeSa** varía cada **n** pixeles para satélites con gran ancho de barrido (NOAA-AVHRR, MODIS, SeaWiFS). Para satélites como LANDSAT y SPOT por ejemplo, con menor ancho de barrido, se considera constante para toda la escena.

Ej: NOAA-AVHRR: 55.4 °

El **AAzSat** también varía para satélites con un gran ancho de barrido, mientras que permanece constante para toda la escena en los demás satélites



- θ_{sat} Angulo Cenital Satelital (ACeSat)
- ϕ_{sat} Angulo Azimutal Satelital (AAzSat)
- η Angulo de Barrido o Vista Satelital (AVSat)
- n** Normal a la superficie terrestre en el punto considerado
- L** Línea de barrido del satélite

Volver

Geometría de Iluminación

Modificado de Frulla (1992)



θ_{sol} Angulo Cenital Solar (ACeSol)

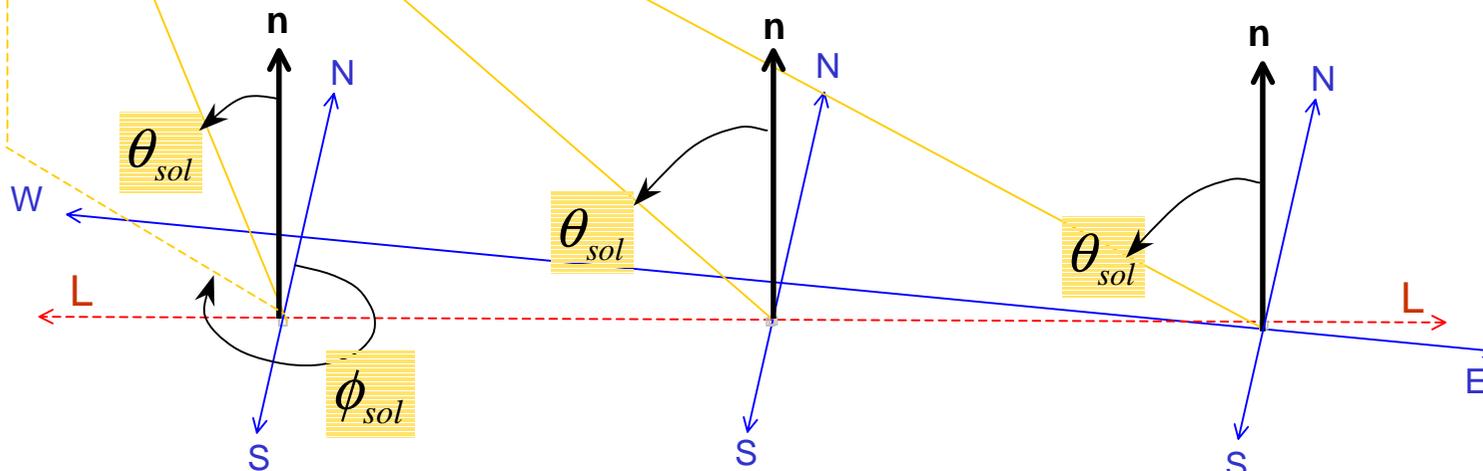
ϕ_{sol} Angulo Azimutal Solar (AAzSol)

n Normal a la superficie terrestre en el punto considerado

L Línea de barrido del satélite

El ACeSol varía cada **n** pixeles para satélites con gran ancho de barrido (NOAA-AVHRR,MODIS, SeaWifs). Para satélites como LANDSAT y SPOT por ejemplo, con menor ancho de barrido, se considera constante para toda la escena.

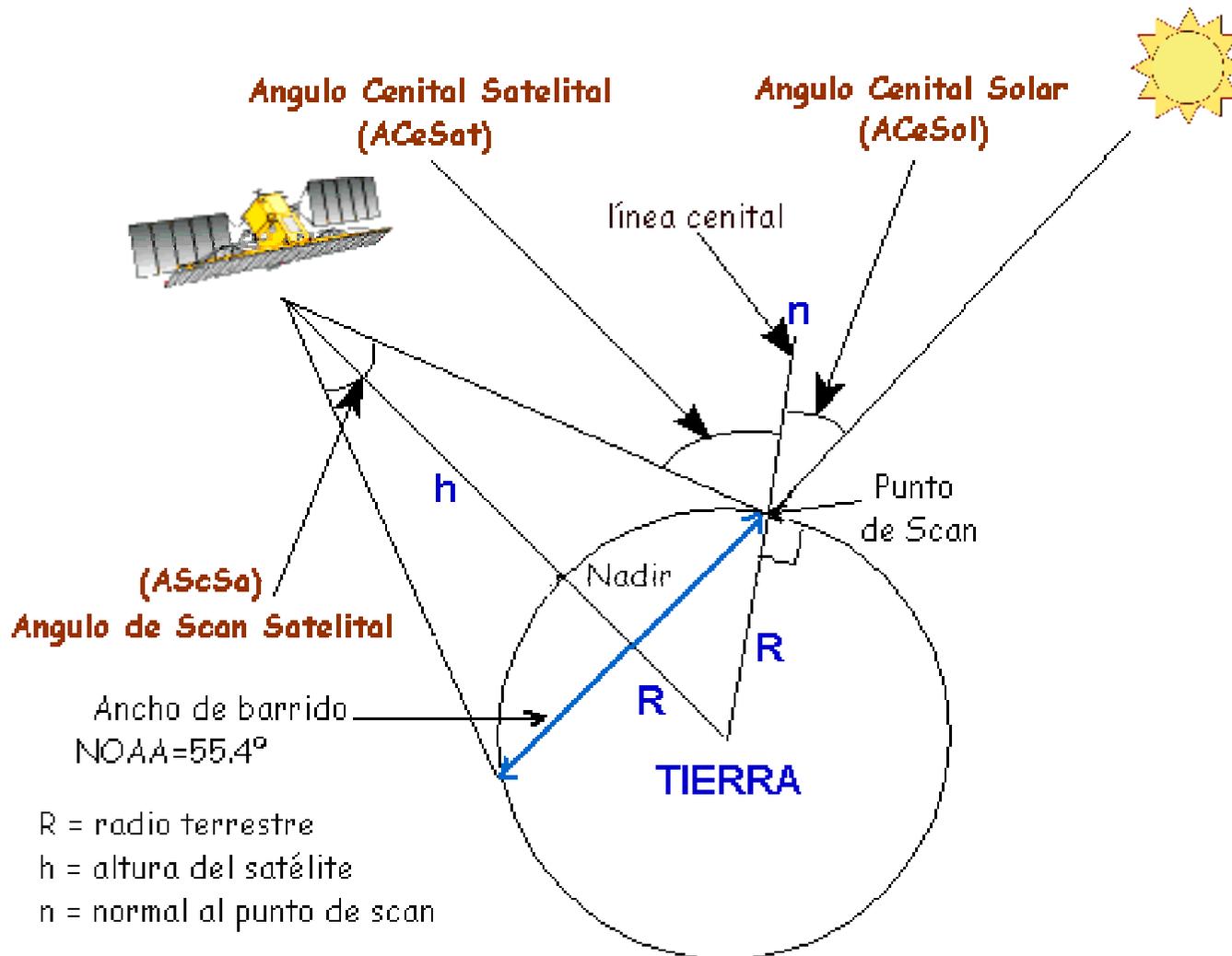
El AAzSol también varía para satélites con un gran ancho de barrido, mientras que se considera constante para toda la escena en los satélites como LANDSAT y SPOT.



observación



Relaciones angulares satelitales y solares



El Espectro electromagnético (EEM)

