Principios y aplicaciones de sensores remotos instalados en distintos satélites

2do cuatrimestre 2012

Miércoles 1400 a 2000 hs.

Inés Velasco *Alberto Flores* *Silvia Romero* *Carolina Cerrudo*

INTRODUCCION

- ***TELEDETECCIÓN***
- ***PERCEPCIÓN REMOTA***
- ***TELEOBSERVACIÓN***
- ***"SENSORAMIENTO REMOTO"***
- **Observación espacial de la Tierra**

Son términos usados ahora indistintamente para describir la ciencia y el arte de **detectar, identificar**, **observar** y **medir** propiedades de un objeto o evento **sin tomar contacto directo** con él, o sea se usa un "**sensor remoto" (SR).**

En un sentido más restricto, la **teledetección** se se refiere a la tecnología de adquirir información de:

- *De la superficie (continentes-océanos)*
- *De la atmósfera (Meteorológica/Climática)*
- *Espacial*

usando sensores a bordo de aeronaves (aviones, globos) o plataformas espaciales (satélites , estaciones espaciales)

Importante: *El avance simultáneo de la computación, (hardware y software) y de las comunicaciones.*

- Información útil tanto para la realización de inventarios como para estudios de vigilancia, predicción e investigación

- Permite generar bases de información consistentes para extrapolar e interpolar los datos tomados *in situ*.

- La información desde el objeto u evento (blanco) llega al sensor como radiación electromagnética (REM).

- El sensor mide esta REM, a partir de la cual se obtienen parámetros o propiedades bío-geofísicas.

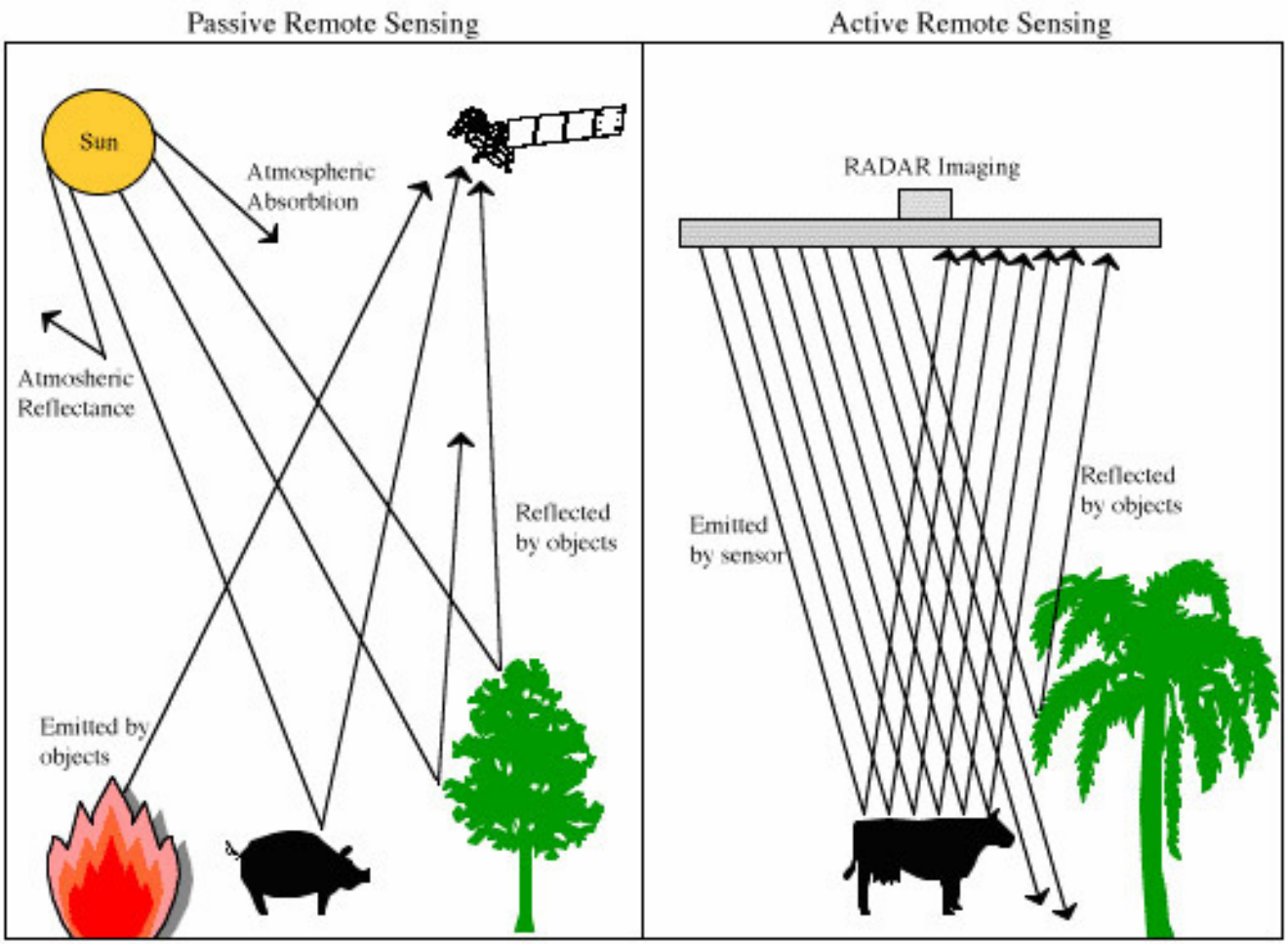
- Las salidas del SR son, en general, una **imagen** que representa el blanco observado.

Sensores remotos / Sensores in situ

Cobertura global / Datos más precisos

Distinguir: pro/co

Los sensores remotos pueden ser ***pasivos*** o ***activos.***



PASIVOS ACTIVOS

Figura 1

Inés Velasco

FACTORES QUE PARTICIPAN EN LA TELEDETECCIÓN

1. ***FUENTES DE REM***
   (sol, tierra + atmósfera, sensores)

2. ***PROPAGACIÓN DE REM***
   (entre el blanco y el sensor)

3. ***INTERACCIÓN DE LA REM***
   (c/ el blanco y c/el sensor)

4. ***PROCESAMIENTO DE LOS DATOS EMITIDOS***
   (obtener parámetros físicos ubicados espacialmente)

5. ***INTERPRETACIÓN***
   (en función de la disciplina de aplicación)

FACTORES QUE PARTICIPAN EN LA TELEDETECCIÓN

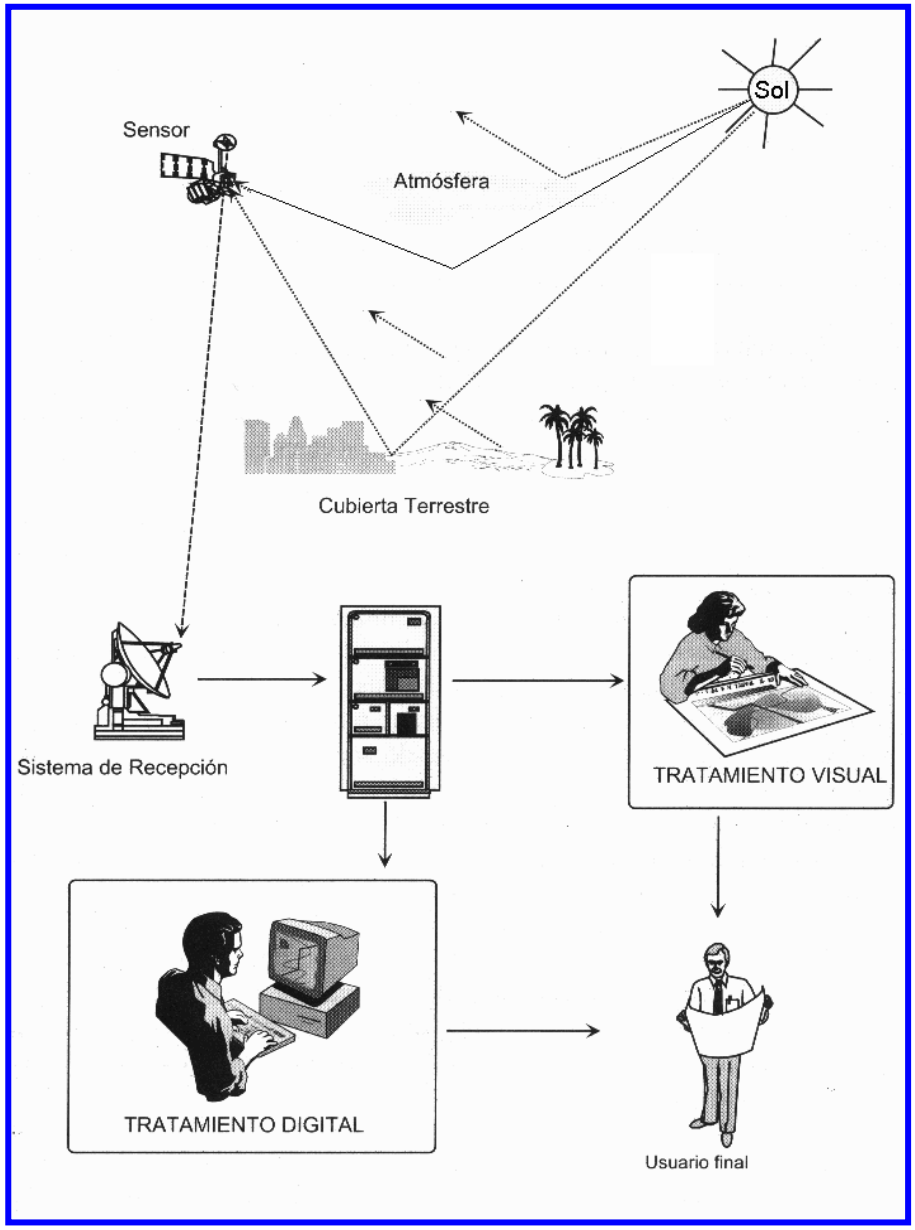


Figura 2. Componentes de un sistema de recepción y procesamiento de datos obtenidos por sensores remotos. (Adaptado de Chuvieco, 1996).

1. FUENTES DE REM
(sol, tierra + atmósfera, sensores)

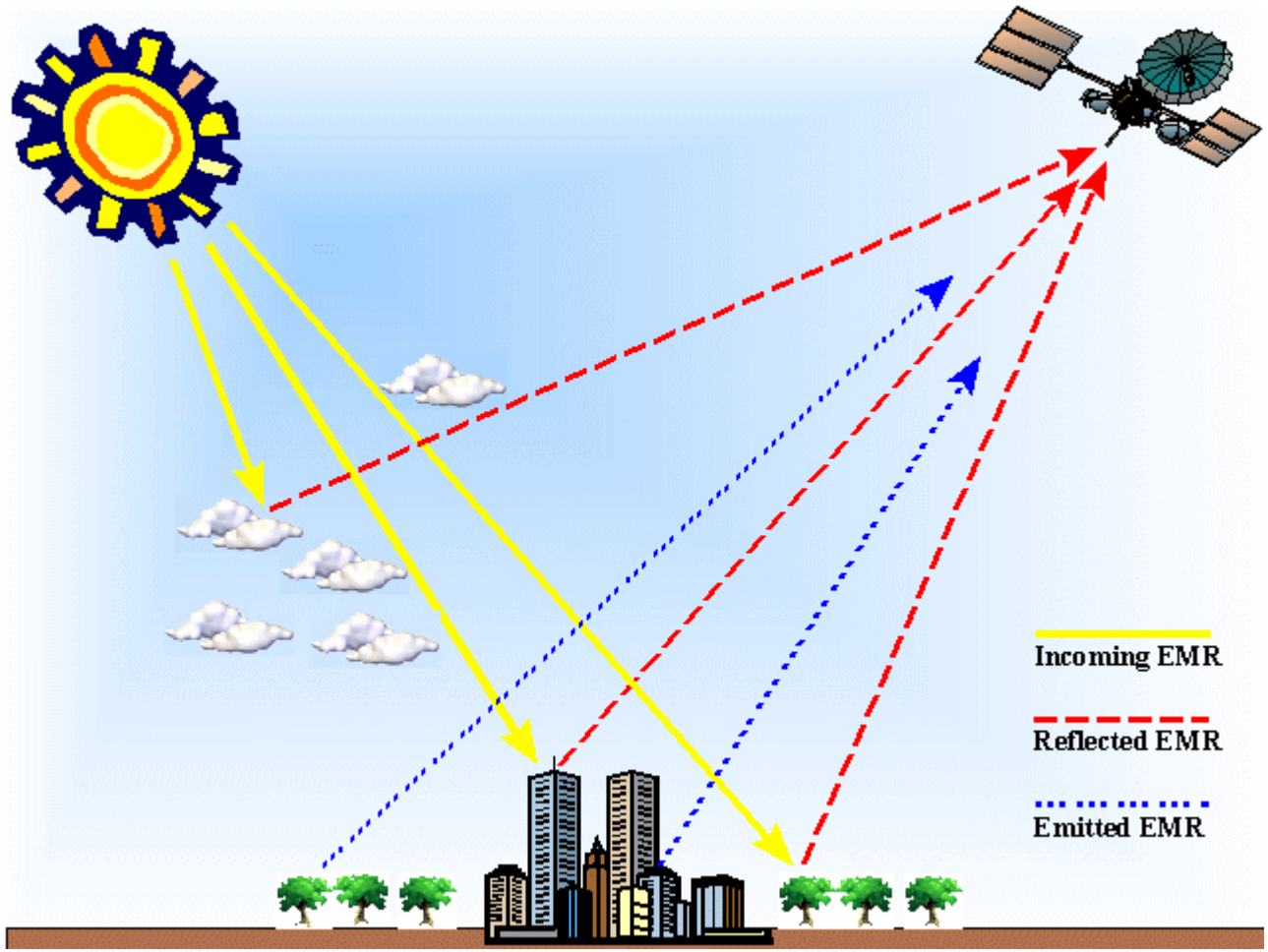


Figura 3

2. PROPAGACIÓN DE REM (entre el blanco y el sensor)

- La REM se transporta través del espacio como perturbaciones periódicas de los campos eléctricos y magnéticos. Las ondas se suelen especificar por su *longitud* (λ), por su *frecuencia* (ν) o por el *número de onda* (κ).

$$\boxed{\nu = c\lambda^{-1} = c\kappa} \quad (1)$$

C = 2.99792458 10^{-8} m s^{-1}

$$[\lambda] = \mu m = 10^{-6}\, m; nm = 10^{-9}\, m; Angstrom = 10^{-10}\, m$$

$$[\upsilon] = Hertz = 1cps; GHz = 10^{9}\, cps$$

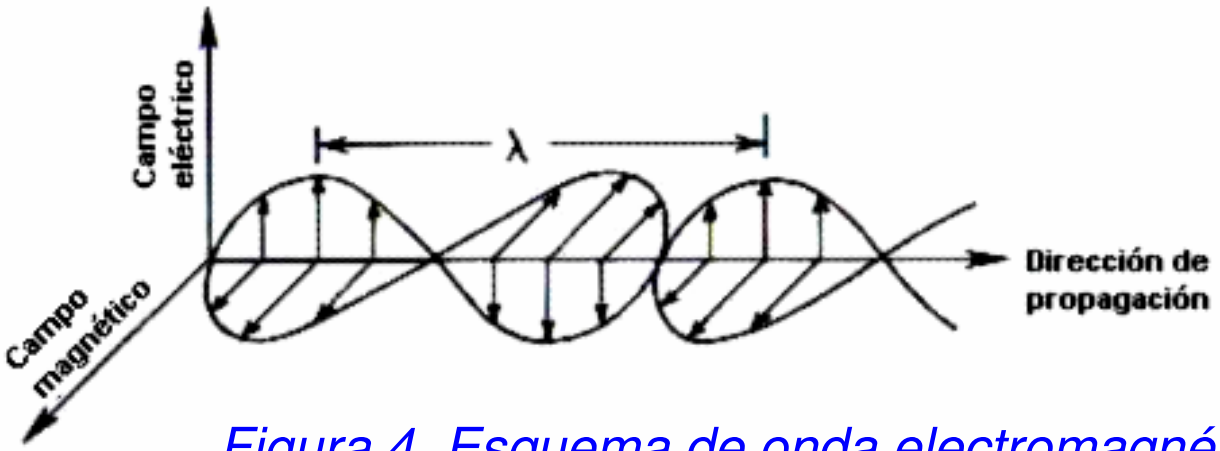


Figura 4. Esquema de onda electromagnética

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

La frecuencia (ν) o longitud (λ) de una onda electromagnética depende de su fuente. En el mundo físico existe un amplio rango de λ, desde las más cortas (ondas eléctricas generadas por las líneas de transmisión de energía) hasta las más largas (rayos gamma originados en los núcleos atómicos). Este rango amplio de λ de las ***ondas electromagnéticas*** constituye lo que se denomina ***espectro electromagnético***.

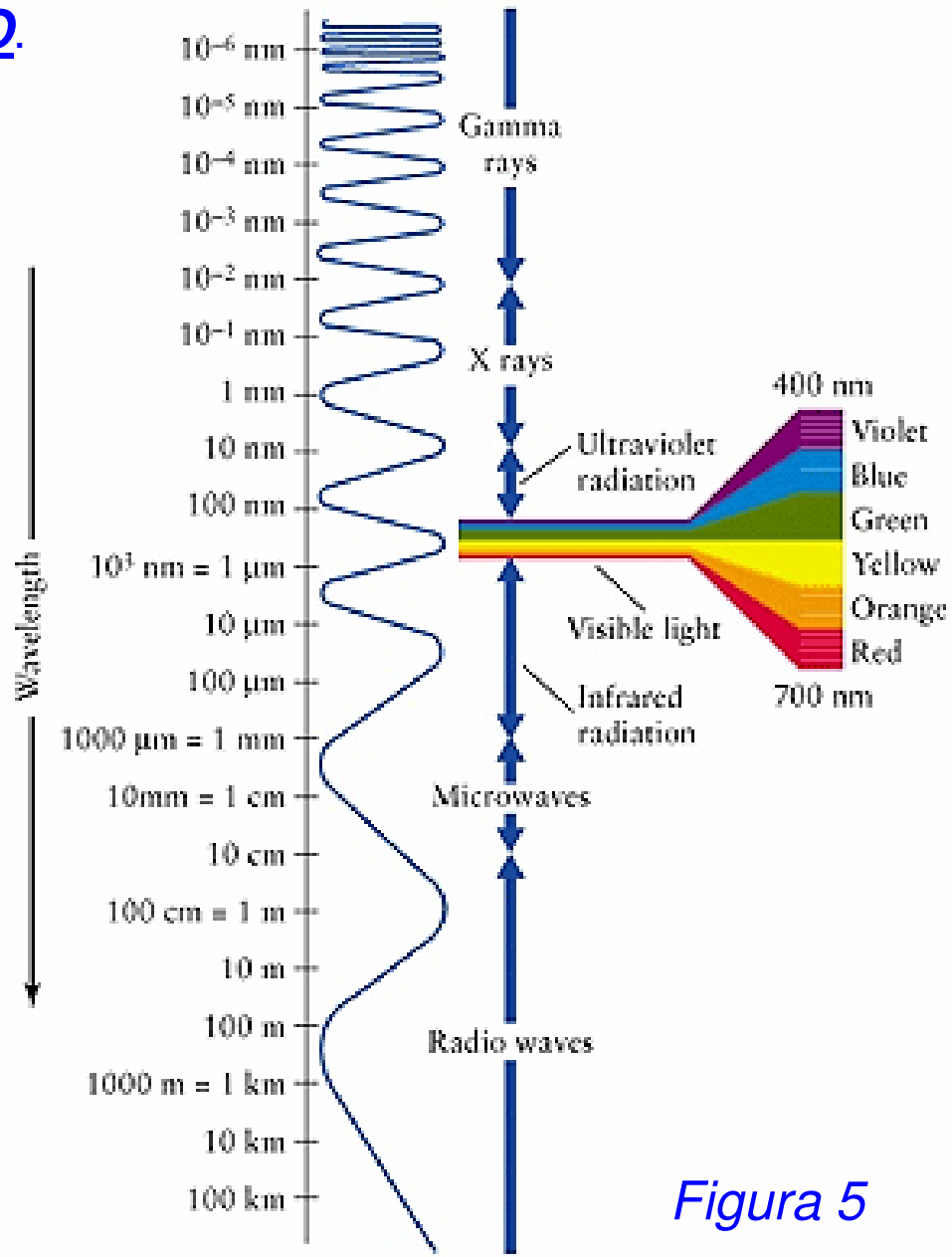


Figura 5

Para los sensores remotos, la porción más significativa de la transferencia radiativa en la atmósfera es la que está delimitada por la radiación ultravioleta (UV) en el límite inferior de y por las microondas en el superior.

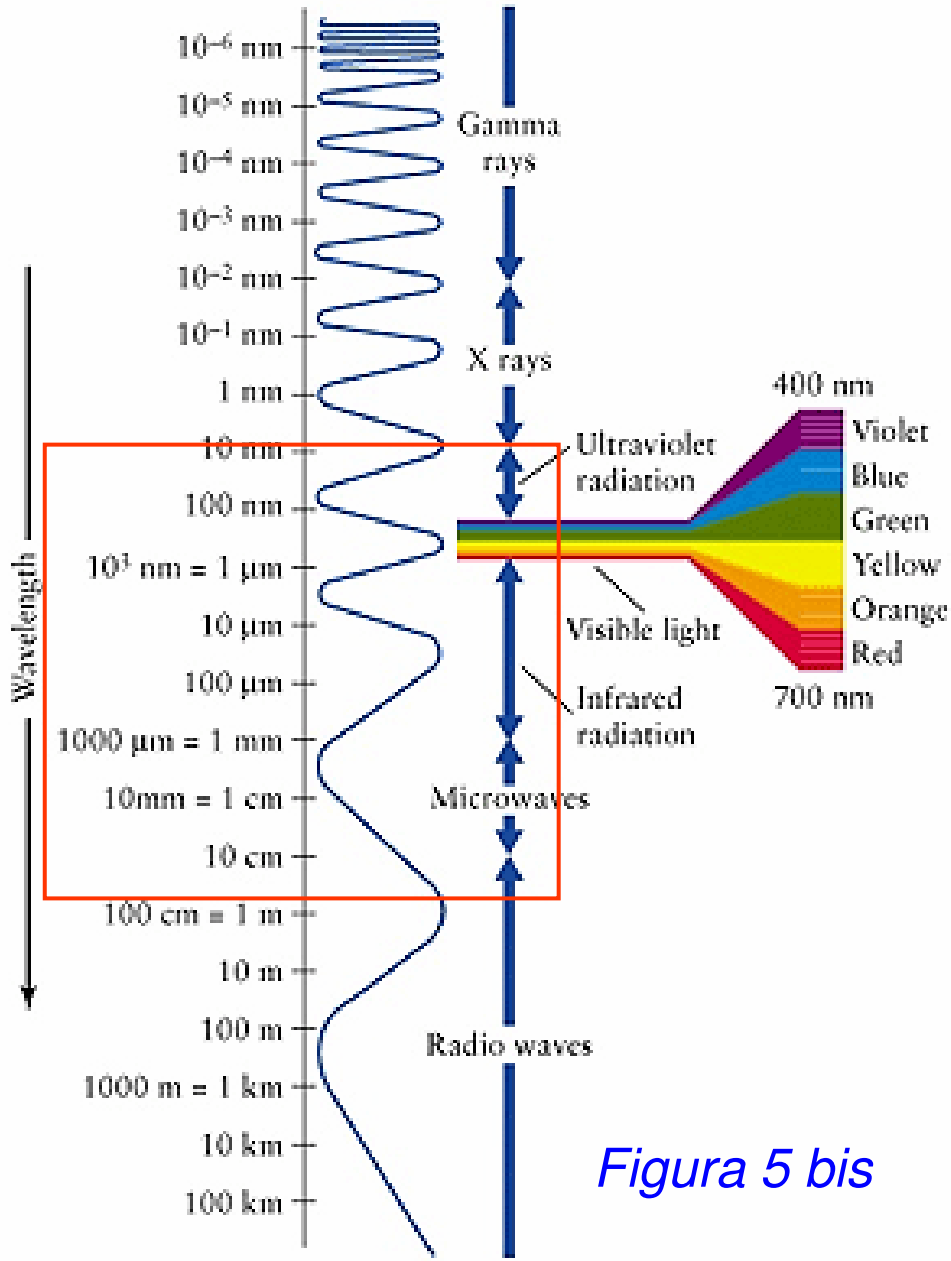


Figura 5 bis

Microondas: λ entre 1 mm y 1 m.

Las microondas se suelen dividir en bandas de diferentes ν o λ:

P:	0.3 - 1	GHz	(30 - 100 cm)
L:	1 - 2	GHz	(15 - 30 cm)
S:	2 - 4	GHz	(7.5 - 15 cm)
C:	4 - 8	GHz	(3.8 - 7.5 cm)
X:	8 - 12.5	GHz	(2.4 - 3.8 cm)
Ku:	12.5 - 18	GHz	(1.7 - 2.4 cm)
K:	18 - 26.5	GHz	(1.1 - 1.7 cm)
Ka:	26.5 - 40	GHz	(0.75 - 1.1 cm)

Infrarrojo: λ entre 0.7 y 300 µm.

Esta región está dividida en bandas:

Near Infrared (NIR): 0.7 - 1.5 µm.

Short Wavelength Infrared (SWIR): **1.5 - 3 µm.**

Mid Wavelength Infrared (MWIR): 3 - 8 µm.

Long Wanelength Infrared (LWIR): 8 - 15 µm.

Far Infrared (FIR): >15 µm.

El ***NIR*** y el ***SWIR*** se conocen también como ***Infrarrojos Reflectivos***, debido a su importante componente infrarroja de la radiación solar reflejada desde la superficie terrestre.

El ***MWIR*** y el ***LWIR*** son denominados ***Infrarrojos Térmicos***.

Visible: 400 nm (violeta) ⇒~ 700 nm (rojo)

Los varios colores que componen el espectro visible están aproximadamente en las siguiente regiones del espectro:

Red: 610 - 700 nm

Orange: 590 - 610 nm

Yellow: 570 - 590 nm

Green: 500 - 570 nm

Blue: 450 - 500 nm

Indigo: 430 - 450 nm

Violet: 400 - 430 nm

- La mayoría de las características de las ***ondas electromagnéticas*** están suficientemente descriptas por la teoría clásica de las ondas o sea las **ecuaciones de Maxwell**, pero…

- ***Cuando las longitudes de onda son muy cortas*** la REM interacciona con la materia en un modo que no queda totalmente explicado por la teoría clásica de las ondas.

En este caso una descripción basada en el comportamiento de las partículas es más adecuada. En esta descripción la energía electromagnética no se propaga en forma continua, sino que se transporta en unidades discretas o ***cuantos de energía (fotón)****.*

- La energía de un cuanto esta dada por la expresión

$$\boxed{\Delta E = h\upsilon} \qquad (2)$$

h: cte. de Planck: 6.6260755 x 10^{-34} J s

TELEDETECCIÓN DESDE SATÉLITES

Satélites para la observación de la Tierra:

Meteorológicos/Recursos naturales

Uso: operativo, investigación, comunicaciones

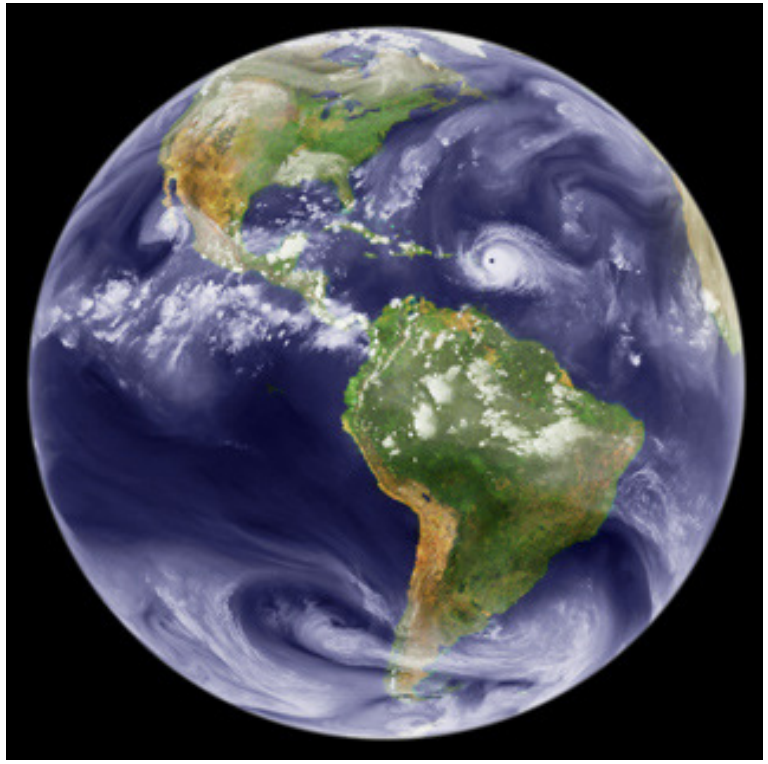
Inés Velasco

UN POCO DE HISTORIA

1840- Se tomaron ***fotos*** desde ***globos*** con las cámaras recientemente inventadas
1957- Sputnik, se colocaron cámaras en una nave espacial que orbitaba
1960- Satélites Meteorológicos, TIROS I (**T**elevision and **I**nfra**r**ed **O**bservtion **S**atellite). **1er. visión completa de un sistema integrado e inseparable de continentes-océanos-atmósfera-biota.**
1964- NIMBUS
1966- DMSP (D**efense **M**eteorological **S**atellite **P**rogram)
***1969- Meteor** (Unión Soviética)*
1972- Landsat, 1ro. Dedicado a los recursos naturales
***1975- GOES (G**eoestationary **O**perational **E**nvironmental **S**atellite)* Dos satélites (en 75 y 135°W)
***1977- GMS-1 (G**eoestationary **M**eteorological **S**atellite),* Japón (140°E).
1978- Meteosat-1 (ESA) Agencia Espacial Europea),geoestacionario, (0°).
1978-SAR (Synthetic Aperture Radar), Seasat, sistema activo
1979- India Sistemas de órbita polar y en ***1983 Insat-1*** (geoesatcionario) en 74°E.
***1984- ERBE (E**arth **R**adiation **B**udget **S**atellite),* el 1ro. Dedicado al clima.
***1986- SPOT (S**ysteme **P**our l'**O**bservation de la **T**erre), (CNES-francés)*

http://www.nasa.gov/missions/current/index.html

Primera imagen de la Tierra desde un satélite meteorológico, el TIROS-1, 01/04/60. Aunque primitiva en comparación con las actuales, esta primer imagen fue un gran avance.



Disco GOES-8, imagen vapor, September 5, 1995. (Courtesy of Marit Jentoft-Nilsen

Figura 6

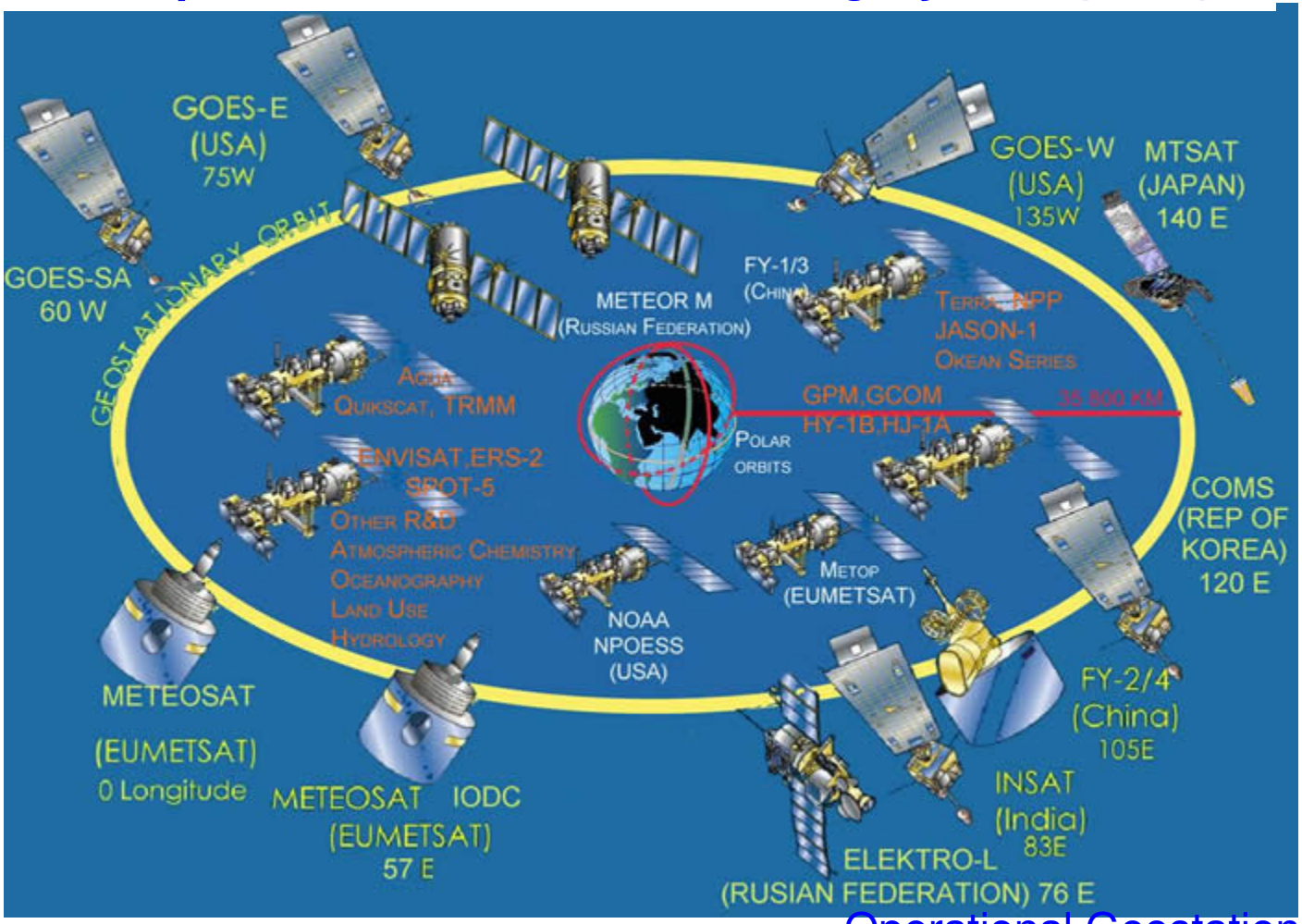
➢ Los satélites están equipados con sensores que apuntan hacia la Tierra y la observan continuamente a medida que van describiendo órbitas predecibles.

➢ Actualmente hay un número importante de satélites que proveen datos para investigación y aplicaciones operativas.

➢ Las observaciones desde los distintos satélites tienen las siguientes **ventajas**:

- **Abarcan áreas extensas;**
- **Las observan en forma repetitiva;**
- **Hacen mediciones cuantitativas usando sensores radiométricamente calibrados;**
- **Costo relativamente bajo por unidad de área observada**

"The space-based Global Observing System (GOS)"



El programa de satélites de cada agencia participante en el GOS contribuye a optimizar y robustecer globalmente el sistema de observación.

Figura 7

Information maintained by WMO Space Programme

Operational Geostationary (Geo) satellites
Operational Low Earth Orbit (LEO) satellites
Environmental Research and Development (R&D) satellites

Inés Velasco

Satélites meteorológicos que participan en el GOS

• NOAA-GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), USA: Satélites geoestacionarios.

• NOAA-POES (Polar-Orbiting Operational Environmental Satellite), USA: Satélites sol-sincrónicos de órbita casi polar. Sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer),

• METEOSAT, European Space Agency: Satélites geoestacionarios

• Fengyun-1, Peoples Republic of China: Satélites sol-sincrónicos de órbita casi polar.

• Fengyun-2, Peoples Republic of China: Satélites geoestacionarios.

• GMS (Geostationary Meteorological Satellite), Japan: Satélites geoestacionarios

• DMSP (Defense Meteorological Satellite Program), USA: Satélites meteorológicos puestos en órbita por el US Department of Defense.

• INSAT (Indian National Satellite System), India: Satélites geoestacionarios.

• METEOR, FSU/Russia: Satélites meteorológicos en órbitas sol-sincrónicas y no sol-sincrónicas.

➢ ***Los Satélites Geoestacionarios están principalmente dedicados a la meteorología operativa y en segundo término a la investigación.***

Current geostationary (GEO) satellites contributing to the GOS

http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSgeo.html

Current Low Earth Orbit (LEO) satellites contributing to the GOS

http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSleo.html

NOAA-AVHRR Y GOES

http://www.nesdis.noaa.gov/SatInformation.html

NOAA KLM USER'S GUIDE

http://www.ncdc.noaa.gov/oa/pod-guide/ncdc/docs/klm/index.htm

EUMETSAT y ESA

http://www.eumetsat.int/Home/index.htm

http://www.esa.int/esaLP/LPmetop.html

➢ Los sensores que están abordo de los satélites están **caracterizados** por:

- **La longitud de onda de las bandas y el número de bandas usadas para la adquisición de datos;**
- **La resolución espacial;**
- **La extensión del área observada;**
- **El período de revisita**.

➢ Los satélites disponibles actualmente proveen **datos útiles para distintas aplicaciones.**

➢ De acuerdo a la resolución espacial los satélites se clasifican en sistemas de:

- **Baja resolución** (> 1 km)
- **Media resolución** (≅ 100 m a 1 km)
- **Alta resolución** (5 m a 100 m)
- **Muy alta resolución** (< 5 m)

➢ Según la región del espectro usada para la adquisición de imágenes los sistemas se suelen clasificar en:

- **Sistema de imágenes ópticas** (VIS, NIR, SWIR)
- **Sistema de imágenes térmicas**
- **Sistemas de imágenes de radar de apertura sintética**, (Synthetic aperture radar - SAR)

➢ Los ***sistemas de imágenes ópticas/térmicas*** se pueden clasificar de acuerdo al número de bandas espectrales que poseen:

- **Monoespectrales o pancromáticos** (una sola banda, imagen en escala de guises)
- **Multispectrales** (varias bandas espectrales)
- **Superespectrales** (decenas de bandas espectrales)
- **Hiperespectrales** (cientos de bandas espectrales)

➢ Los Sistemas SAR (Synthetic Aperture Radar) se pueden clasificar de acuerdo con la combinación de bandas de frecuencias y los modos de polarización usados en el proceso de adquisición de los datos, por Ej.:

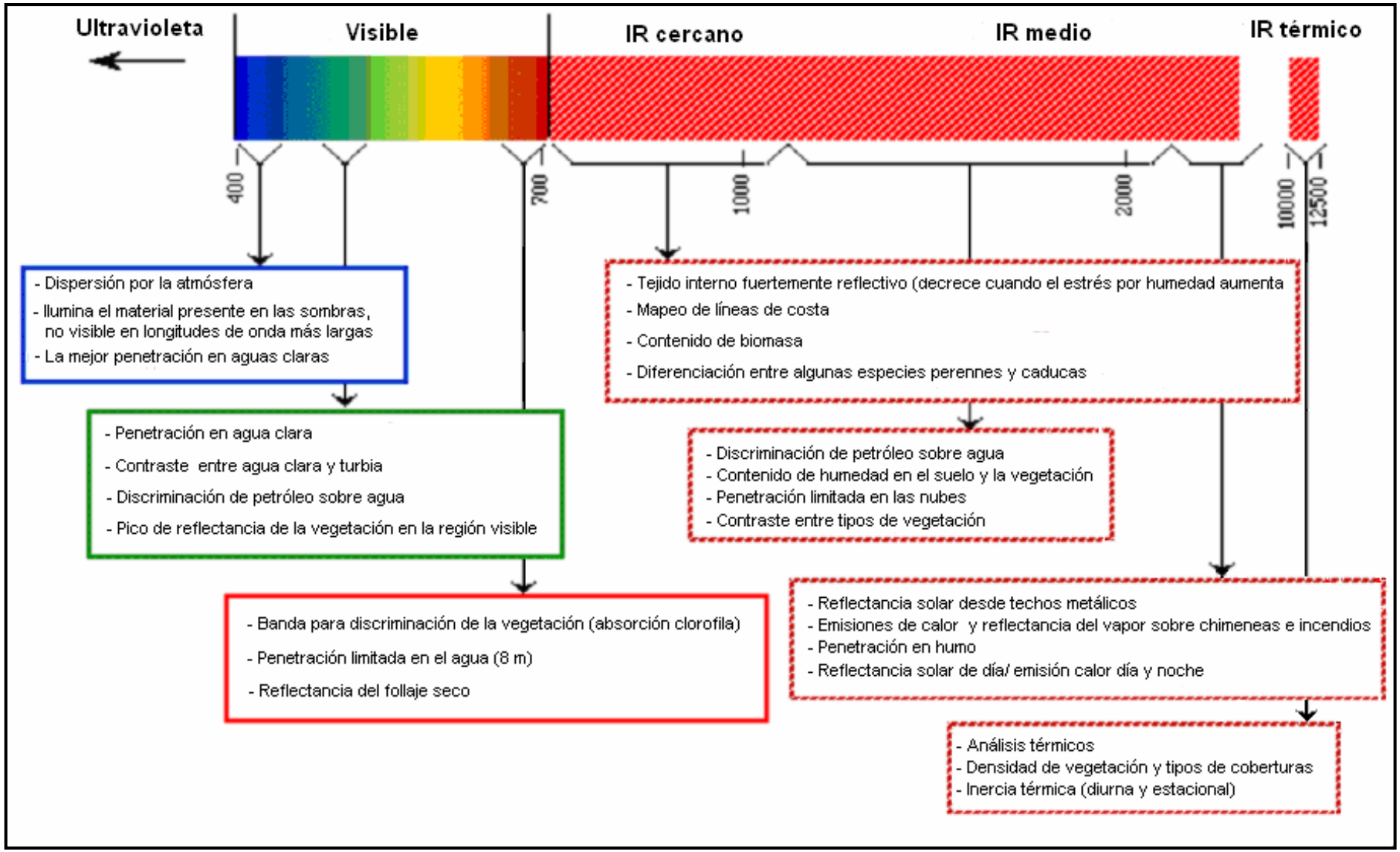
- **Una frecuencia** (banda L, o banda C, o banda X)
- **Múltiples frecuencias** (combinación de dos o más bandas)
- **Una polarización** (VV, o HH, o HV)
- **Múltiples polarizaciones** (combinación de dos o más modos de polarización)

➢ Los satélites transportan instrumentos específicos para hacer mediciones de parámetros bio-geofísicos de la Tierra. Algunos ejemplos son:

- **Contenido de vapor de agua en la atmósfera,**
- **Ozono estratosférico,**
- **Temperatura de superficie (continentes y océanos)**
- **Cobertura vegetal**
- **Concentración de clorofila en el mar,**
- **Campo de vientos en la superficie del mar,**
- **Aerosol troposférico, etc.**

➢ **Distintas misiones específicas** fueron y serán lanzadas para monitorear en forma continua las variaciones globales de estos parámetros ambientales que pueden mostrar las causas o los efectos de los cambios del clima global y el impacto de la actividad humana en el ambiente.

Ejemplos de aplicaciones en el VIS e IR (*rango óptico*?) del espectro



Inés Velasco

Trayectorias de los satélites

- En general, un satélite sigue una órbita elíptica alrededor de la Tierra.
- El tiempo que tarda en completar una órbita se llama **periodo orbital.**
- El satélite cuando se traslada en el espacio traza un camino sobre la superficie terrestre llamado "**ground track**" .
- A medida que la Tierra rota por debajo de el satélite, este hace una traza diferente sobre la superficie en cada ciclo subsiguiente.
- Los satélites se colocan en órbitas especiales de manera que el satélite repite su traza después de un intervalo de tiempo fijo (**periodo de revisita**).

Órbitas sol-sincrónicas (casi-polares)

- Los satélites para observación de la Tierra, en su mayoría, recorren órbitas sol-sicrónicas.

- Estas órbitas son casi-polares, con una altitud tal que el satélite pasará siempre sobre una localidad a la misma hora solar local (local solar time-LST). Esto garantiza las mismas condiciones de iluminación solar para las imágenes tomadas en un determinado lugar, excepto los cambios por variaciones estacionales.

- Estas órbitas están sobre un plano inclinado con un ángulo pequeño respecto al eje de rotación de la Tierra y la cubren casi totalmente en un ciclo diurno.

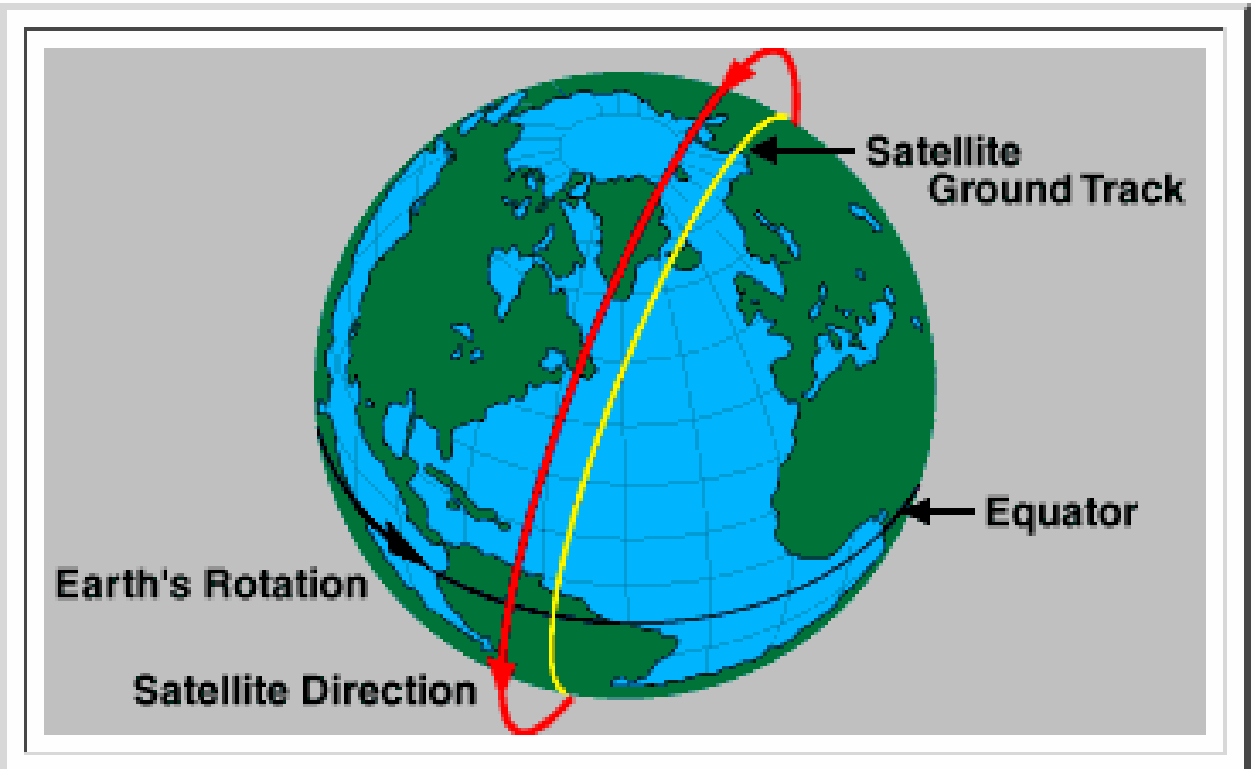


Figura 8. Órbita sol-sincrónica casi polar

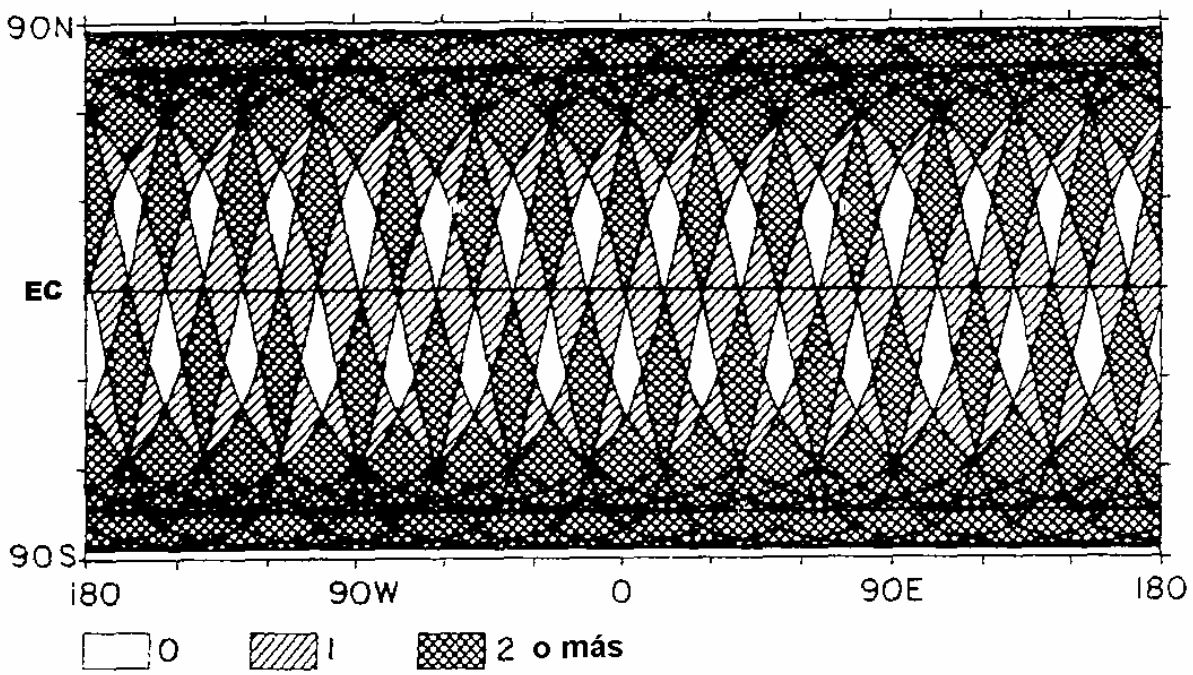


Figura 9. Áreas cubiertas por un sensor hipotético en un satélite meteorológico sol sincrónico (órbita casi polar). (Fuente: Kidder y Vonder Haar, 1995)

- Revisita cada 12 hs cerca del Ecuador y cada 1 a 2 hs en latitudes altas
- Cobertura global casi completa

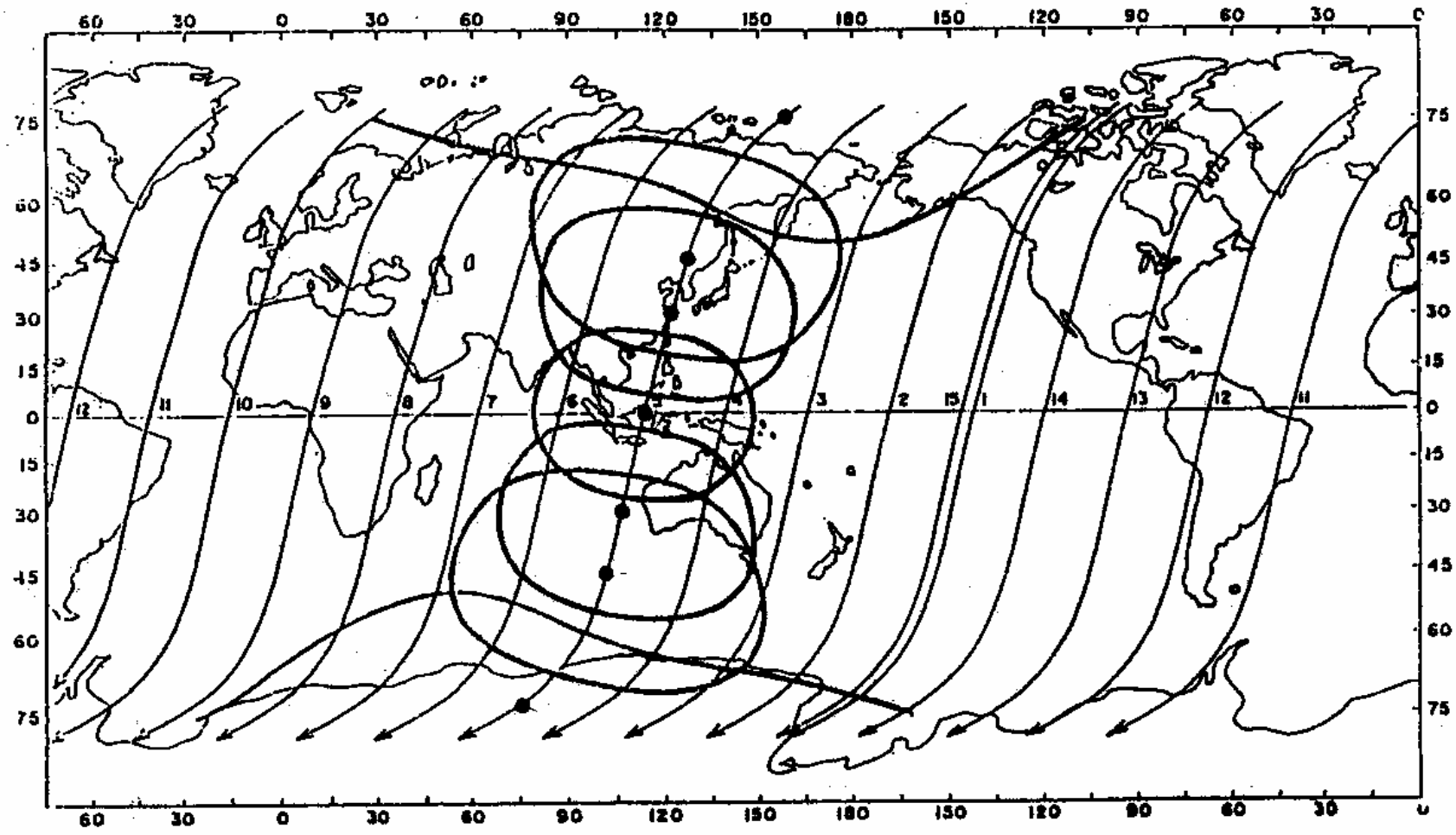


Figura 10. Variación de longitudes abarcadas por las estaciones receptoras en tierra de acuerdo a la latitud de su ubicación

Orbitas Geoestacionarias

- Si un satélite sigue una órbita paralela al Ecuador en la misma dirección que la rotación de la Tierra y con el mismo periodo de 24 horas, el satélite aparecerá estacionario con respecto a la superficie de la Tierra.
- En esta órbita estacionaria el satélite esta a una altitud de 36.000 km.
- Estas órbitas hacen que el satélite vea siempre el mismo disco de la Tierra.
- Estas órbitas son las comúnmente usadas por los satélites meteorológicos de uso operativo.

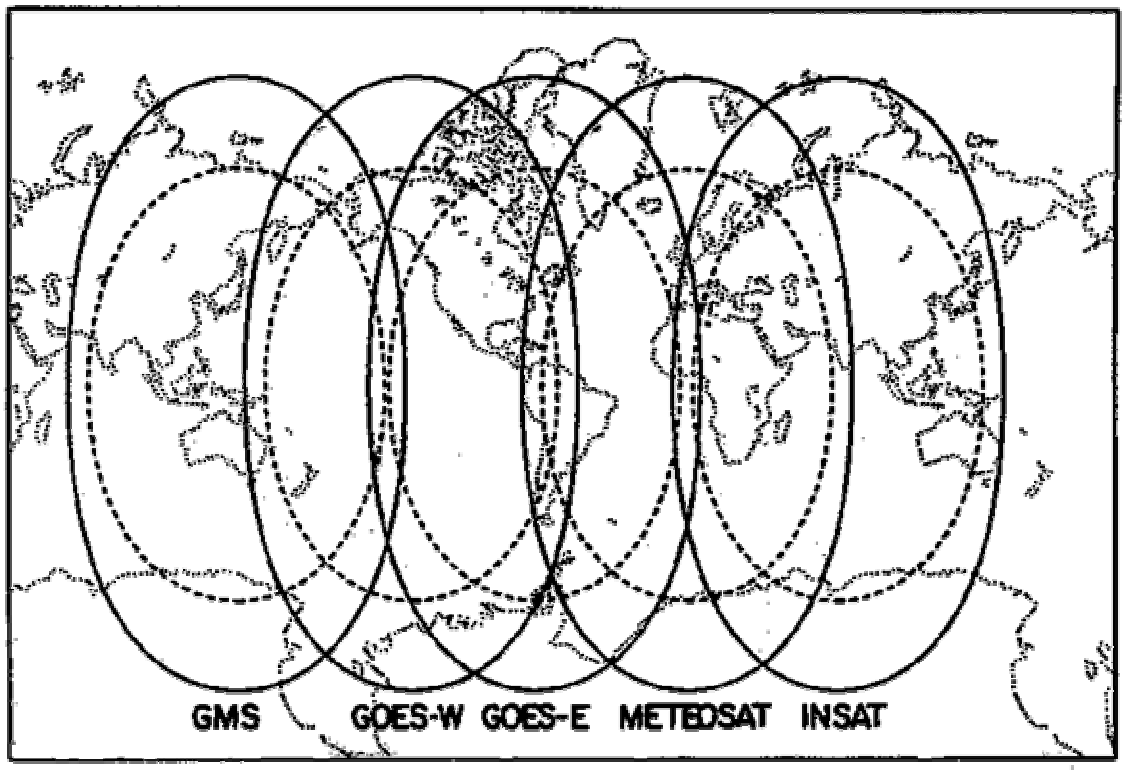
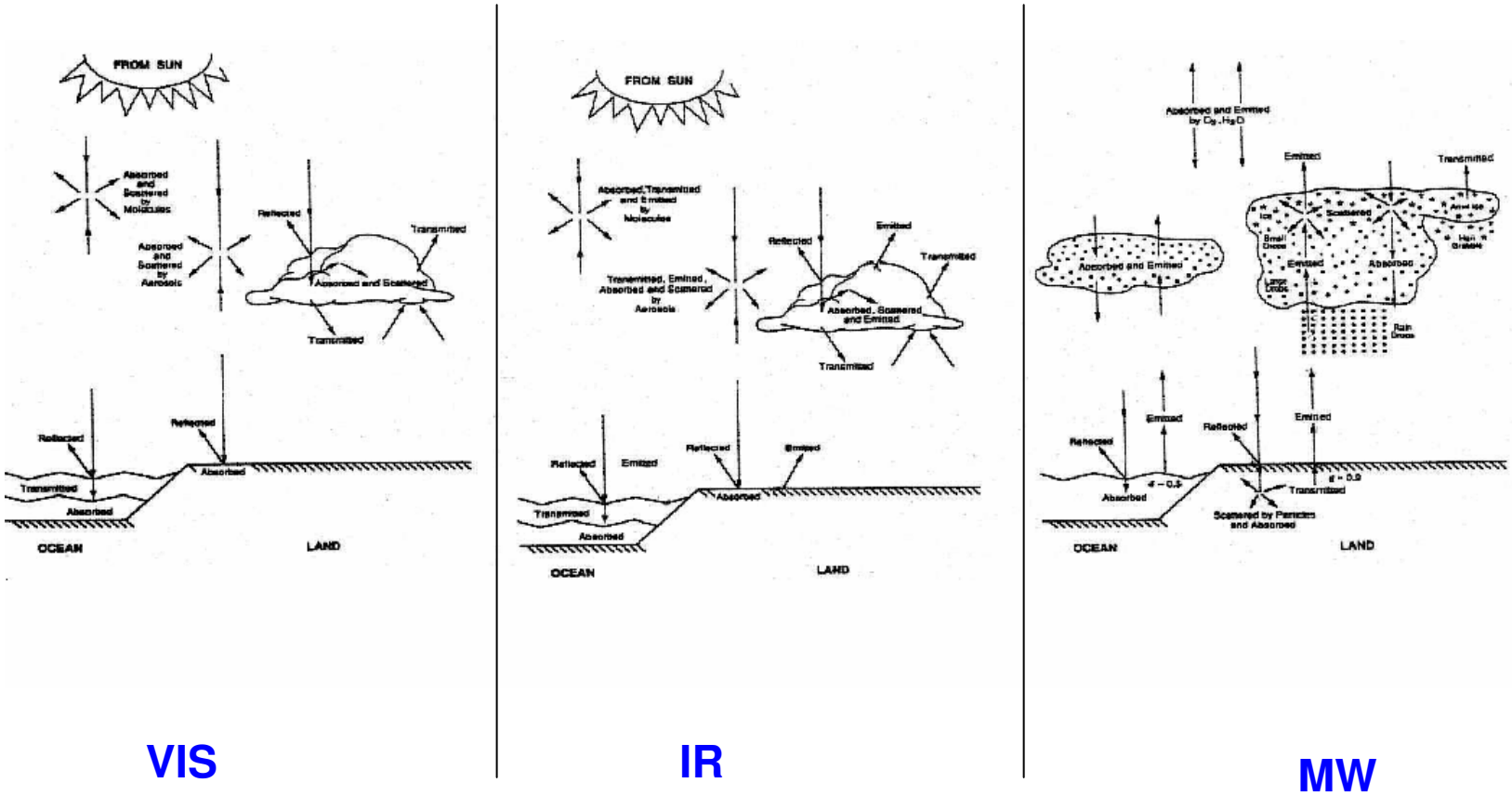


Figura 11. "Operational Geostationary (Geo) satellites"

• La constelación de los sistemas **GOES** provee un monitoreo continuo de las condiciones meteorológicas del hemisferio oeste. Éstos son operados por la "**National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)".**

• Además, monitorean el espacio, reciben y trasmiten datos de búsqueda y rescate, y reciben y transmiten datos tomados en plataformas de superficie.

3. INTERACCIÓN DE LA REM



VIS **IR** **MW**

Emisión, absorción, reflexión, dispersión

Figura 12. Interacciones principales entre la radiación, la superficie, la atmósfera y las nubes. (Adaptado de Rao et al., 1990).

Inés Velasco

Emisión, absorción, reflexión, dispersión

Dependen de:

1. estado del sistema (líquido, sólido, gaseoso) y
2. de la longitud de onda (λ) de la REM

- *En la atmósfera, para $\lambda < 1\ \mu m$, dispersión >> absorción*
  para $\lambda \approx$ IR, dispersión << absorción

- *Para superficies sólidas o líquidas, la emisión, absorción, reflexión y dispersión abarcan un rango amplio de λ.*

- *En el rango VIS e IR las interacciones ocurren en los niveles superficiales,*

- *En el rango de las microondas (MW) las interacciones ocurren en superficie y subsuperficie.*

Además:

- Las interacciones en la región de las MW son función de*:*

  i) **rugosidad superficial,**
  ii) contenido de H_2O líquida,
  iii) dispersión por partículas).

Por ej. el suelo, la nieve y el hielo secos absorben poco, por lo tanto emiten poco,

Pero… si se le agrega una pequeña cantidad de H_2O líquida, absorben más, $\Rightarrow$ la emisividad (ε) aumenta mucho, $\rightarrow$ 1.

Refracción de un haz al cruzar un medio

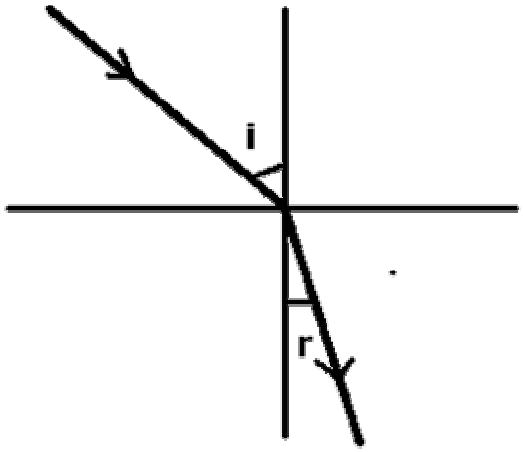


Figura 13

$$n_R = c / c_m = sen\, i / sen\, r \qquad (7)$$

C = 2.99792458 10^{-8} m s^{-1}

$n_r \cong 1.003$ (aire a nivel del mar)
$n_r \cong 1.333$ (agua)

➢ Importancia en la localización de los blancos observados desde el satélite

Revisión de otros elementos de radiación de amplio uso en Sensores Remotos

Definiciones

Concepto	Símbolo	Fórmula	Unidad de medida
Angulo sólido	**Ω**	$d\Omega = sen\theta d\theta d\phi = d\mu d\phi$	**[sr]**
Flujo radiante	F	$\frac{\delta Q_R}{dt}$	Watt, [Watt = J s^{-1}]
Densidad de flujo radiante o Emitancia o Exitancia (M) ⇑ o Irradiancia (E) ⇓	M ⇑ E ⇓	$\frac{\delta Q_R}{dAdt}$	[Watt m^{-2}]
Radiancia	L	$L = \frac{\delta Q_R}{d\Omega dAdt}$	[Watt sr^{-1} m^{-2}]
Radiancia espectral	L_λ	$L_\lambda = \frac{\delta Q_R}{d\Omega dAdtd\lambda}$	[Watt sr^{-1} m^{-2} μm^{-1}]

Aplicación del concepto de ángulo sólido

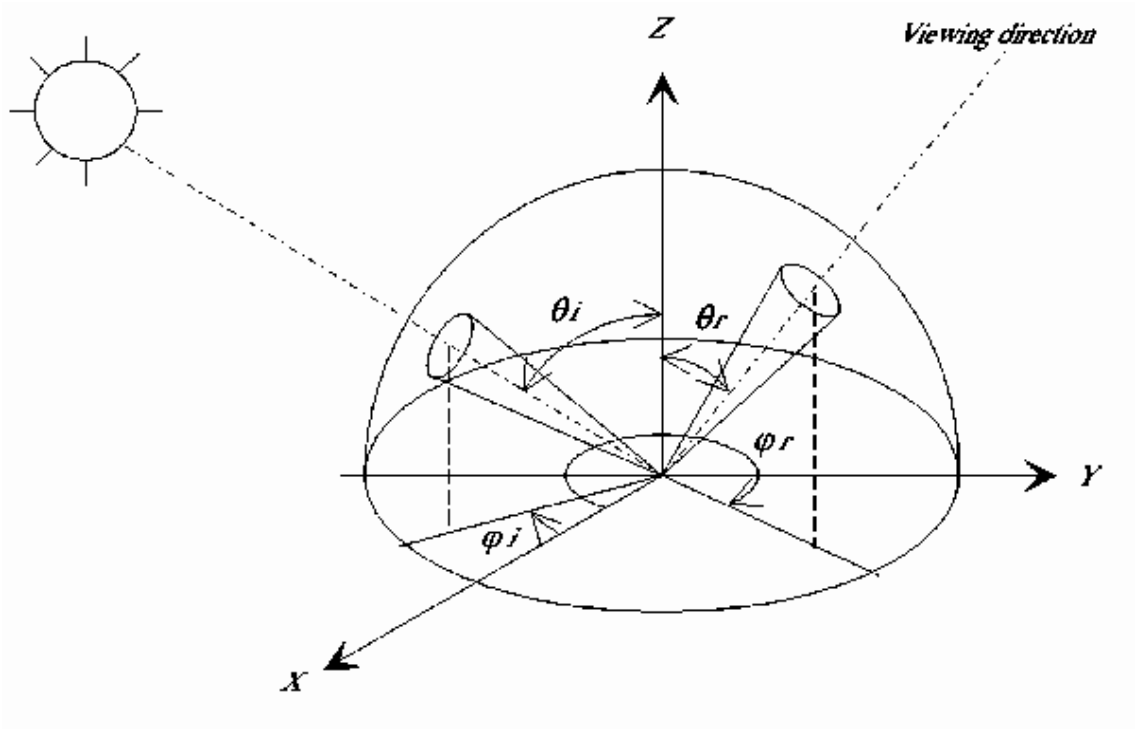


Figura 14. Posición del blanco iluminado por el sol y observado desde el satélite.

Importancia en la calibración y georeferenciación

Representación matemática de un ángulo sólido

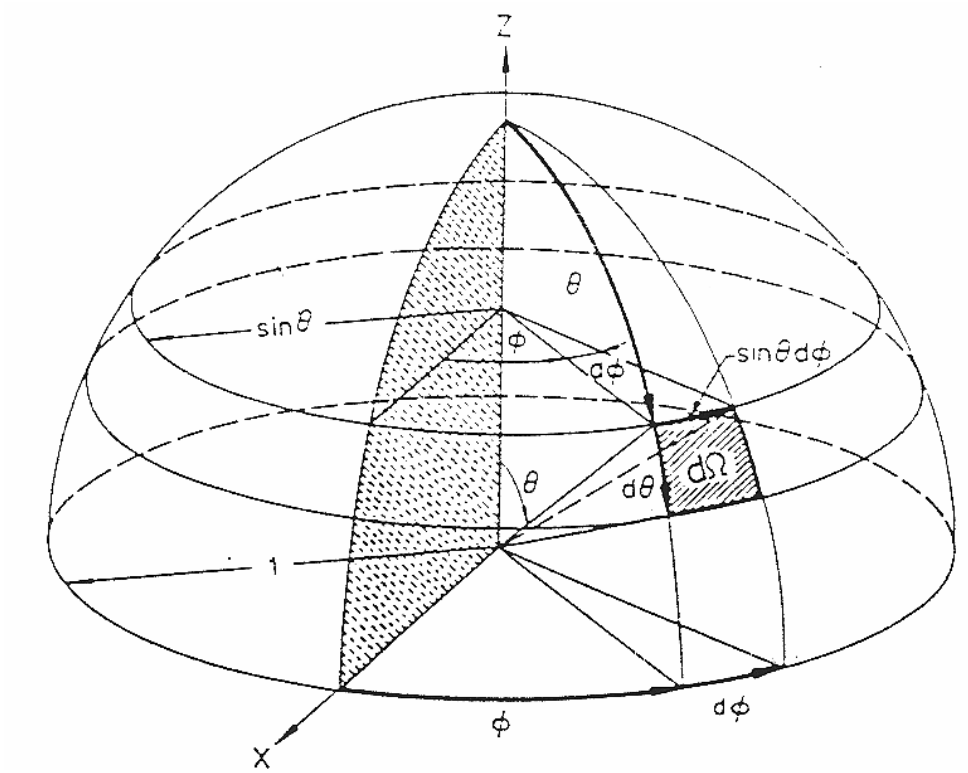
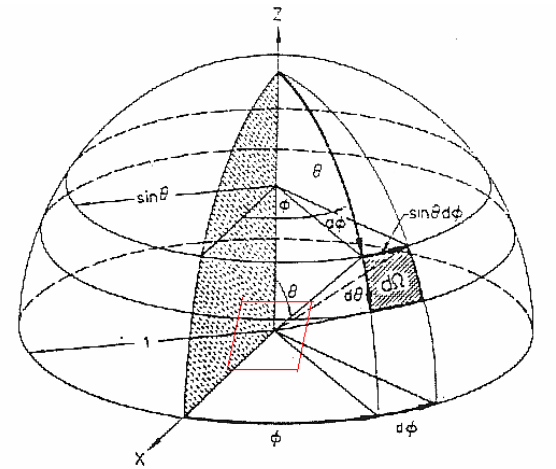


Figura 15

$$d\Omega = sen\theta d\theta d\phi = d\mu d\phi \qquad (3)$$

Emitancia



- La cantidad de radiación que emite (M) o recibe (E), un diferencial de área, desde o hacia todas las direcciones esta dada por:

$$M = \int_0^{2\pi} L(\theta,\phi)\cos\theta\, d\Omega = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi/2} L(\theta,\phi)\cos\theta\, sen\theta\, d\theta d\varphi = \int_0^{2\pi}\int_0^{1} L(\mu,\phi)\mu\, d\mu\, d\phi \quad (4)$$

Para radiancia isotrópica es:

$$M = L\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi/2} cos\theta sen\theta d\theta d\phi = \pi L \quad (5)$$

Nota: La ***radiancia*** se refiere a un ***haz de radiación normal*** a la superficie, entonces se deben normalizar las otras direcciones por:

$$\cos\theta$$

La **radiancia (L),** está integrada sobre todo el rango del espectro electromagnético:

$$L = \int_0^\infty L_\lambda d\lambda = \int_0^\infty L_\nu d\nu = \int_0^\infty L_\kappa d\kappa \qquad (6)$$

Pero la cantidad radiométrica más utilizada con los sensores remotos es la *radiancia monocromática (L_λ):* ***"Energía por unidad de longitud de onda, por unidad de ángulo sólido que cruza una unidad de área perpendicular al haz"*.**

Esto se debe a que el *instrumento básico del satélite* es un sensor, el *radiómetro*, que tiene un detector con una cierta área, cuya señal de salida es proporcional a la energía que impacta esta área en la unidad de tiempo.

- El sensor que está en el centro de un telescopio colecta la radiación que proviene desde un cierto *ángulo sólido* *($d\Omega$)*, y tiene un filtro que deja pasar sólo la radiación proveniente desde un cierto *rango angosto de longitud de onda* *($\Delta\lambda$).*

- Al normalizar la salida de la energía del sensor por su área (*Ap*), por el ángulo sólido *($d\Omega$)*, y por $\Delta\lambda$, se obtiene una cantidad muy cercana a L_λ.

- Otra propiedad importante de la radiancia, es que es independiente de la distancia al objeto, siempre que el ángulo de visión y la cantidad de materia interviniente no cambie.

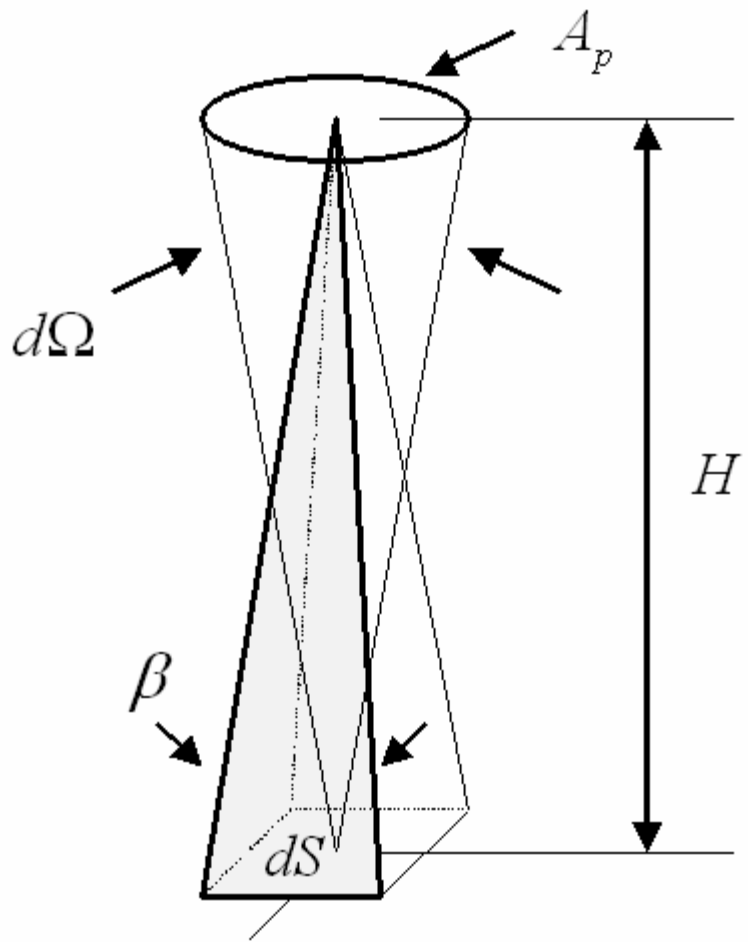


Figura 16

Cuerpo negro

Ley de Planck

Radiancia del Cuerpo Negro
(emisor perfecto)

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{exp(\frac{hc}{\lambda kT}) - 1}\lambda^{-5} \qquad (8)$$

k: cte. de Boltzman: 1.380658 x 10^{-23} J K^{-1}
h: cte. de Planck: 6.6260755 x 10-34 J s
T: temperatura absoluta

$$B_\lambda(T) = \frac{c_1}{exp(\frac{c_2}{\lambda T}) - 1}\lambda^{-5} \qquad (9)$$

c_1= 1.1910439 x 10-16 W m^2 sr^{-1},
c_2= 1.438769 x 10^{-2} m K.

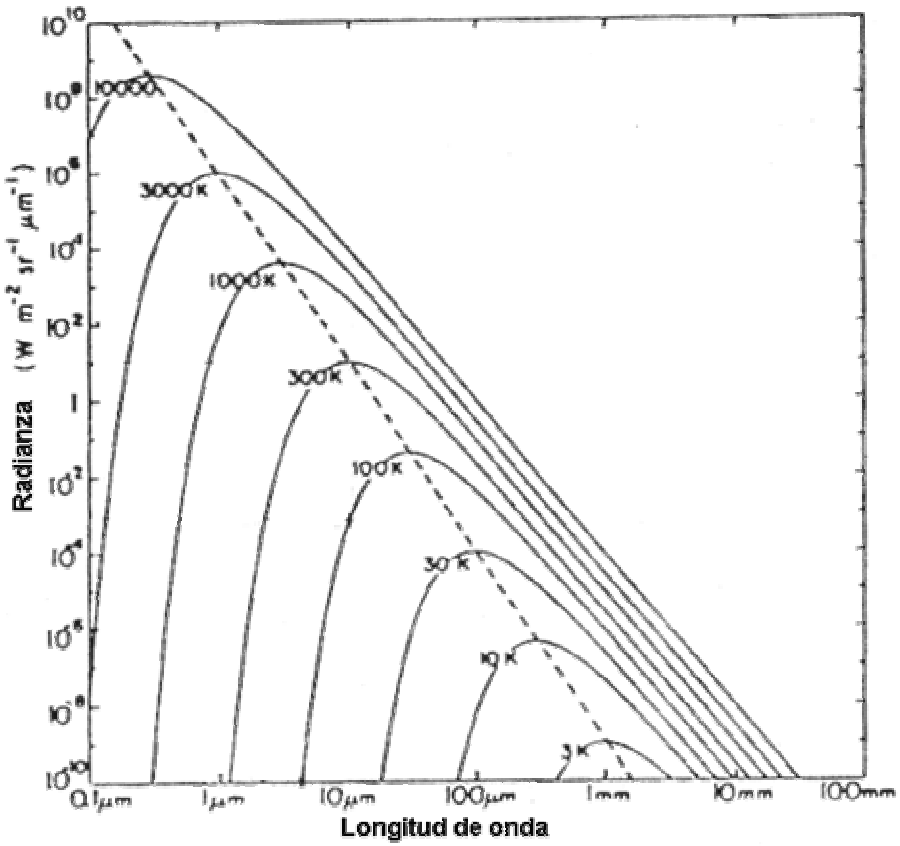


Figura 17

Ley de Wien

$$\lambda_m = \frac{2897.9\mu mK}{T} \qquad (10)$$

Inés Velasco

Aproximación de Raleigh-Jeans

Para λ en el orden de los mm y cm y las temperaturas de la Tierra y su atmósfera:

$$c_2 / \lambda T \ll 1, \quad y \quad \Rightarrow$$

$$exp(c_2 / \lambda T) \cong 1 + c_2 / \lambda T$$

⇒ se obtiene:

$$B_\lambda(T) = \frac{c_1}{c_2} \lambda^{-4} T \qquad (14)$$

:

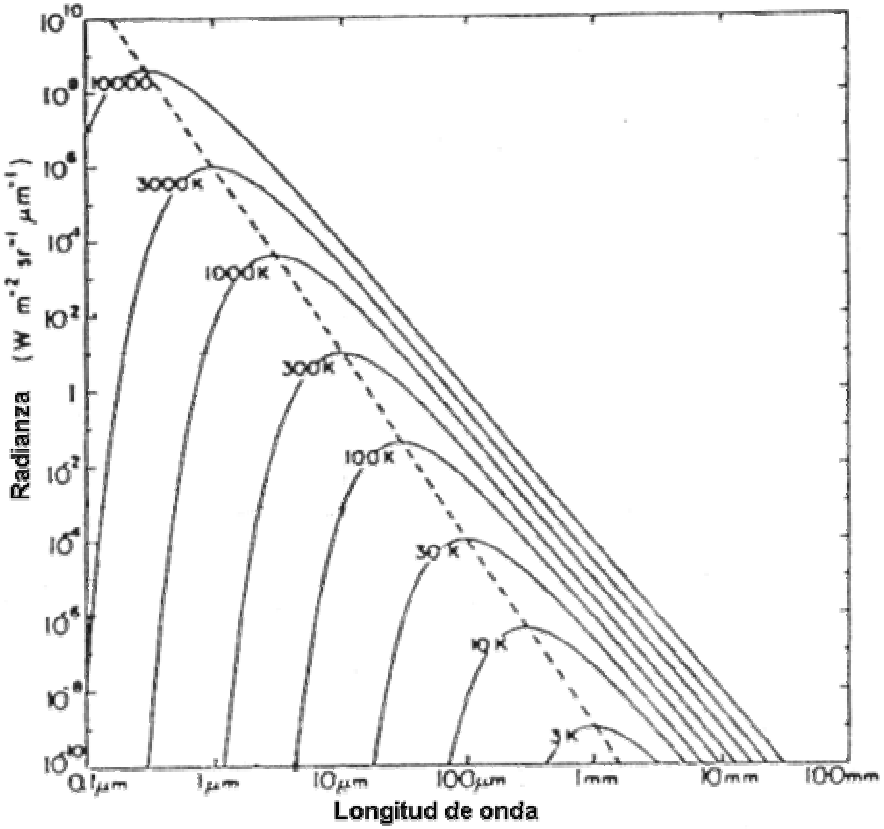


Figura 17 bis

Observación: A = ΔT, la diferencia de señal ΔB entre 2 blancos en Δλ(cortas) >> Δλ(largas)

Emitancia monocromática del cuerpo negro

Como la radiancia del cuerpo negro es independiente de la dirección, de (6) ⇒:

$$M_{BB\lambda} = \pi B_\lambda(T) \qquad (11)$$

Integrando sobre λ, se obtiene la: **Ley de Stefan-Boltzmann**

$$M_{BB} = \int_0^\infty \pi B_\lambda(T)\, d\lambda = \frac{\pi^5}{15} c_1 c_2^{-4} T^4 = \sigma T^4 \qquad (12)$$

o sea:

$$M_{BB} = \sigma T^4 \qquad (13)$$

σ: cte. de *Stefan-Boltzmann* = 5.67051 x 10^{-3} W m^{-2} K^{-4}

- La mayor parte de la radiación proveniente del sol está entre los 100 nm y los 4 μm, y consiste en radiación UV, visible (VIS) e IR cercana (NIR). El 99% de la emisión del sol está entre el VIS (0.4 - 0.75 μm) y el IR cercano (0.74 - 5 μm) y menos del 1% del total proviene del UV.

- La energía radiante emitida por la Tierra está casi totalmente entre los 4 y 200 μm (IR térmica o de onda larga).

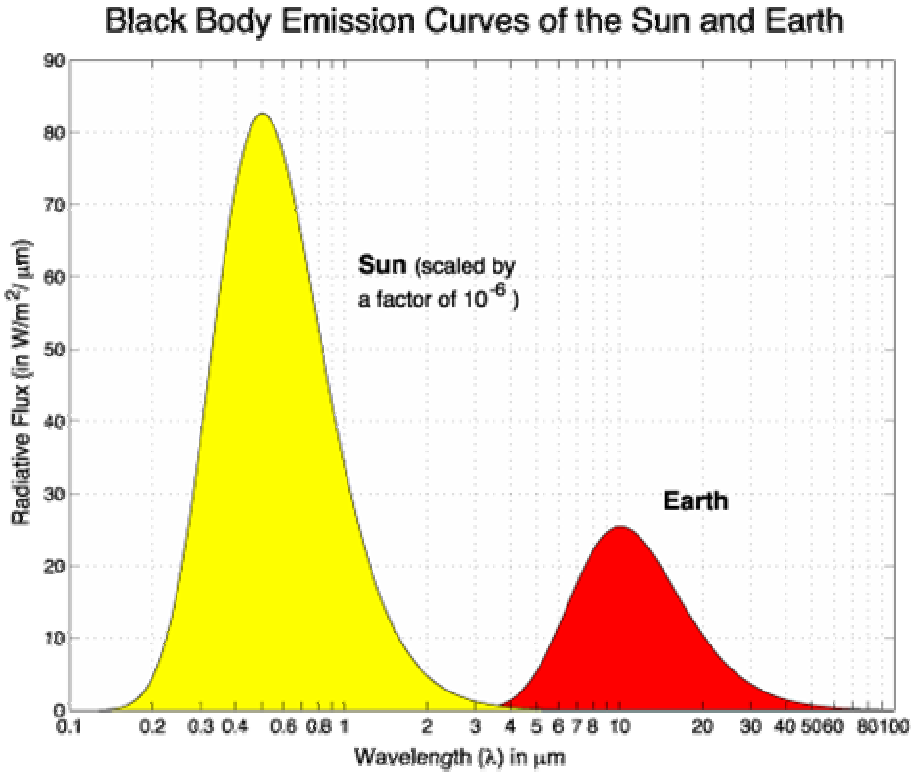


Figura 18

Cuerpos no negros

Emisividad

$$\boxed{\varepsilon_\lambda = \left(M / M_{BB} \right)_\lambda} \qquad (15)$$

α_λ = poder absorbente(absortividad) = (radiación absorbida / radiación incidente)

ρ_λ= poder reflectivo (reflectividad) = (radiación reflejada / radiación incidente)

ι_λ= poder transmisivo (transmisividad) = (radiación transmitida / radiación incidente)

$$\boxed{\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1} \qquad (16)$$

Ley de Kirchoff

$$\boxed{\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda} \qquad (17)$$

Emisividad:
Cuerpo negro/Cuerpo gris/Cuerpo real

Cuerpo real = Radiador selectivo

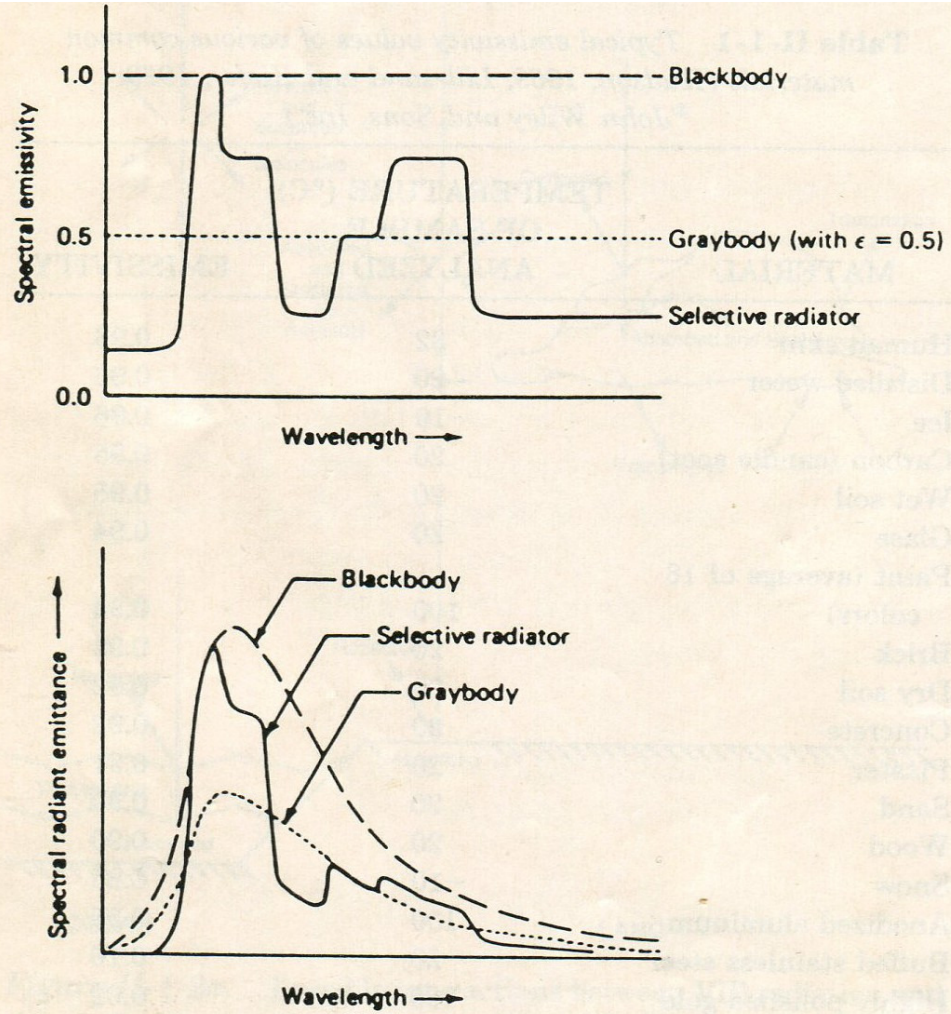


Figure II-1-4. Spectral emissivities and radiant emittances for a blackbody, a graybody, and a selective radiator (Hudson, 1969; Lillesand and Kiefer, 1979: © John Wiley and Sons, Inc.).

Figura 19

Tabla de Emisividad 1

TABLA EMI 1 Infrared Emissivities (percent) of Some Surfaces

Water and soil surfaces	
Water	92–96
Snow, fresh fallen	82–99.5
Snow, ice granules	89
Ice	96
Soil, frozen	93–94
Sand, dry playa	84
Sand, dry light	89–90
Sand, wet	95
Gravel, coarse	91–92
Limestone, light gray	91–92
Concrete, dry	71–88
Ground, moist, bare	95–98
Ground, dry plowed	90
Natural surfaces	
Desert	90–91
Grass, high dry	90
Field and shrubs	90
Oak woodland	90
Pine forest	90
Vegetation	
Alfalfa, dark green	95
Oak leaves	91–95
Leaves and plants	
0.8 μm	5–53
1.0 μm	5–60
2.4 μm	70–97
10.0 μm	97–98
Miscellaneous	
Paper, white	89–95
Glass pane	87–94
Bricks, red	92
Plaster, white	91
Wood, planed oak	90
Paint, white	91–95
Paint, black	88–95
Paint, aluminum	43–55
Aluminum foil	1–5
Iron, galvanized	13–28
Silver, highly polished	2
Skin, human	95

[Data from Sellers (1965). Reprinted with permission from the University of Chicago Press.]

Los cuerpos reales no actúan como cuerpos negros $\Rightarrow$ reflejan

Tabla de Emisividad 2

MATERIAL	TEMPERATURE (°C)	EMISSIVITY
Human skin	32	0.98
Distilled water	20	0.96
Ice	-10	0.96
Wet soil	20	0.95
Dry soil	20	0.92
Sand	20	0.90
Snow	-10	0.85
Anodized aluminum	100	0.55

Emissivity values (Source, Rao et al., 1990)

Albedos for Various Surfaces in Percent

Surface type	Range	Typical value
Water		
Deep water: low wind, low altitude	5–10	7
Deep water: high wind, high altitude	10–20	12
Bare surfaces		
Moist dark soil, high humus	5–15	10
Moist gray soil	10–20	15
Dry soil, desert	20–35	30
Wet sand	20–30	25
Dry light sand	30–40	35
Asphalt pavement	5–10	7
Concrete pavement	15–35	20
Vegetation		
Short green vegetation	10–20	17
Dry vegetation	20–30	25
Coniferous forest	10–15	12
Deciduous forest	15–25	17
Snow and ice		
Forest with surface snowcover	20–35	25
Sea ice, no snowcover	25–40	30
Old, melting snow	35–65	50
Dry, cold snow	60–75	70
Fresh, dry snow	70–90	80

Tipo de nube	**Albedo (%)**
Cumulonimbus grandes y espesos	92
Cumulonimbus pequeños, tope estimado a 6 km	86
Cirrostratus espesos con nubes bajas y precipitación	74
Cumulus y stratocumulus (MCO*) sobre el continente	69
Stratocumulus (MCO*) sobre el continente	68
Stratus espesos sobre océano	64
Stratocumulus en calles, sobre el océano	60
Stratus delgados sobre el océano	42
Cirrus sobre el continente	36
Cirrostratus sobre el continente	32
Cumulus de buen tiempo (MCO*) sobre el continente	29

… más adelante trataremos los siguientes ítems:

4. <u>PROCESAMIENTO DE LOS DATOS EMITIDOS</u>

Datos emitidos = "datos crudos" = valores numéricos

⇒Es necesario:

a) CALIBRAR (correcciones radiométricas y geométricas)
b) GEOREFERENCIAR (localizar o navegar)

Esta etapa se suele citar como "pre procesamiento de la imagen"

para pasar a la:

5.<u>INTERPRETACIÓN</u>

Esta etapa es precedida por lo que se denomina "procesamiento de la imagen" y a veces se incluye en esta la georeferenciación

Imágenes satelitales

- Las ***imágenes*** son el resultado de un instrumento ***Barredor*** *(Scanner)* o ***Radiómetro barredor*** *(Scanning Radiometer).* Este instrumento tiene un campo visual angosto (**IFOV**) que barre una superficie para producir una imagen.
- Los datos vienen ordenados por ***líneas de barrido***, cada una de ellas dividida en elementos o pequeñas muestras conocidas como ***píxeles*** o *"**scan spot**"*.
- El ancho de la superficie barrida depende del ***ángulo de observación*** **(*FOV*)** descrito por el barrido.
- El ***ángulo de observación instantáneo*** **(*IFOV*),** se expresa en mrad y subtiende un área sobre la superficie (***píxel***).

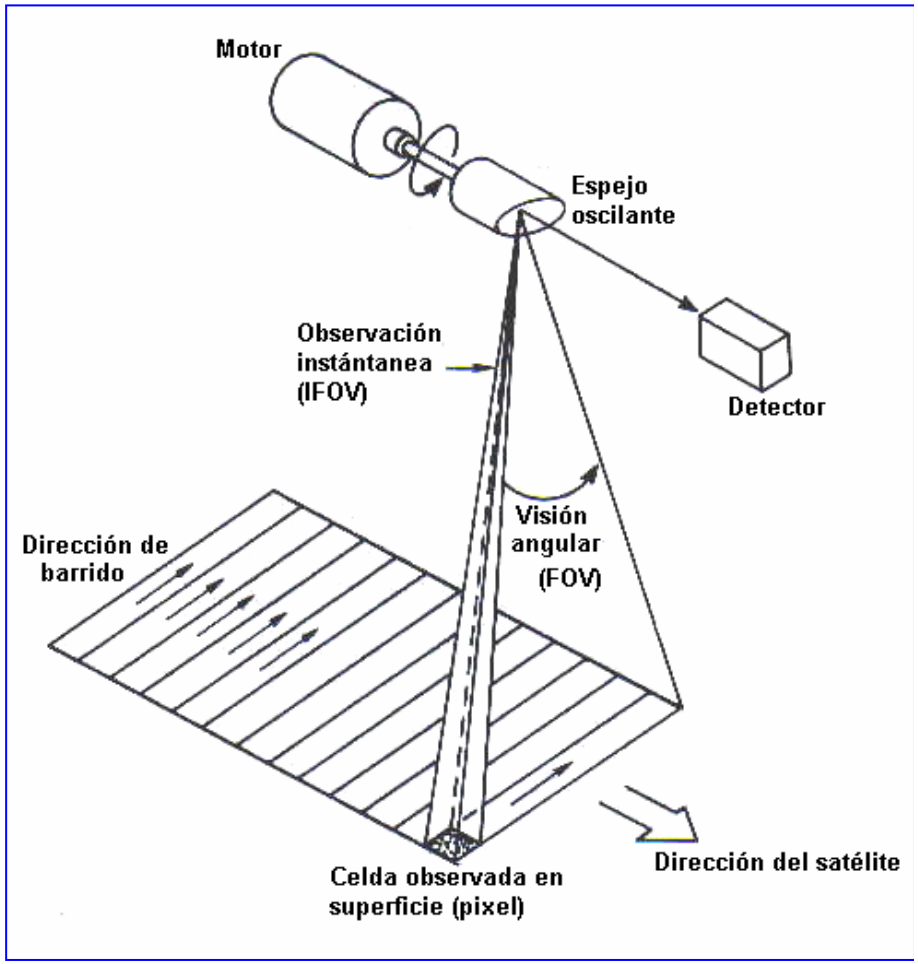


Figura Instrumento barredor

Inés Velasco

Si el **IFOV** es pequeño ⇒ $\boxed{\Delta x = h\Delta\alpha}$

h es la altitud del satélite, y $\Delta\alpha \equiv$ IFOV.

- El ***ángulo de apertura del sensor***, conjuntamente con la ***altura del satélite***, la ***velocidad de barrido*** y las ***características ópticas del sensor*** definen el ***tamaño del píxel***, o sea la ***resolución espacial del sensor.***
- *Cada* ***píxel*** representa un área sobre la superficie de la Tierra.
- Una ***imagen digital*** es un arreglo bidimensional de píxeles en columnas y renglones.

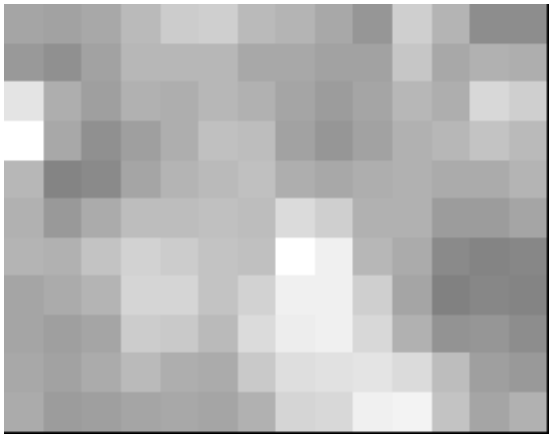
- Si el sistema de interés a observar tiene un tamaño menor que Δx, el sensor no lo distingue.
- Es importante tener presente que el sensor hace una medición "pesada" de la radiación saliente o reflejada de la muestra que representa el pixel.

- Una ***imagen digital*** **e**stá formada por una matriz de números, llamados: ***intensidades, niveles de gris, brillos... (counts, digital numbers (DN)),*** que representan el ***valor numérico de un píxel.*** Este formato se lo indica como ***formato raster***.

- Esta matriz se forma al ir el sensor barriendo un píxel (columna) por píxel hasta completar una línea de barrido (renglón). También se la llama ***imagen de brillos*** o ***imagen de entrada***. Los datos que la conforman se denominan ***datos crudos***.

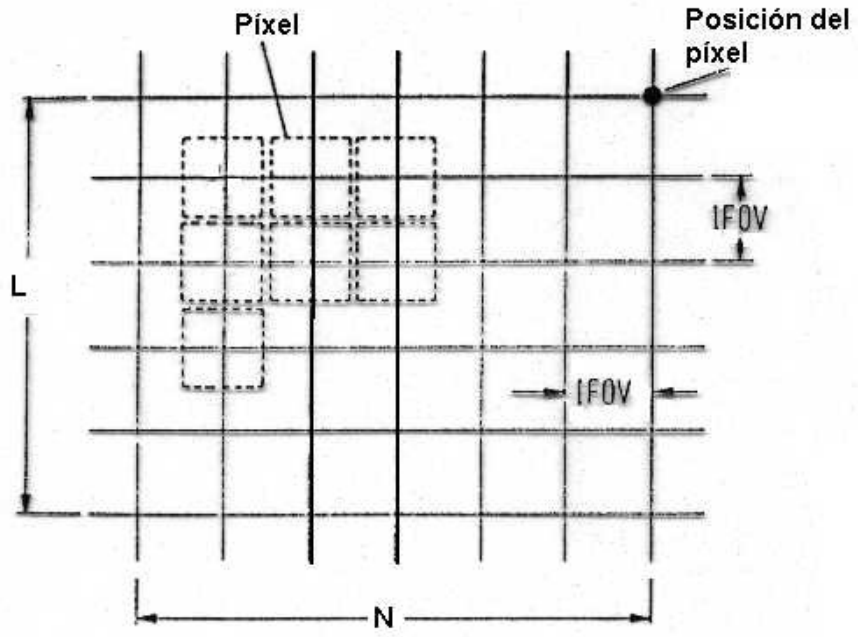
Row	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	55	59	63	69	73	69	61	60	58	58	75	62	54	57
1	56	54	60	67	65	62	59	60	57	59	73	61	69	68
2	81	64	61	64	62	66	64	61	56	57	67	65	79	76
3	85	60	56	60	63	72	69	61	58	61	66	67	68	67
4	61	51	57	63	66	69	70	66	65	65	63	64	62	66
5	62	62	70	71	68	70	69	83	76	61	63	58	58	61
6	66	69	74	75	72	71	71	95	85	64	61	52	51	52
7	60	63	69	75	75	72	74	81	81	71	58	51	53	52
8	58	58	61	71	71	68	74	79	81	76	66	59	58	53
9	58	59	61	62	61	63	70	80	80	84	83	69	59	58
10	58	58	57	59	63	63	65	80	77	86	88	71	63	67

- *Imagen digital*



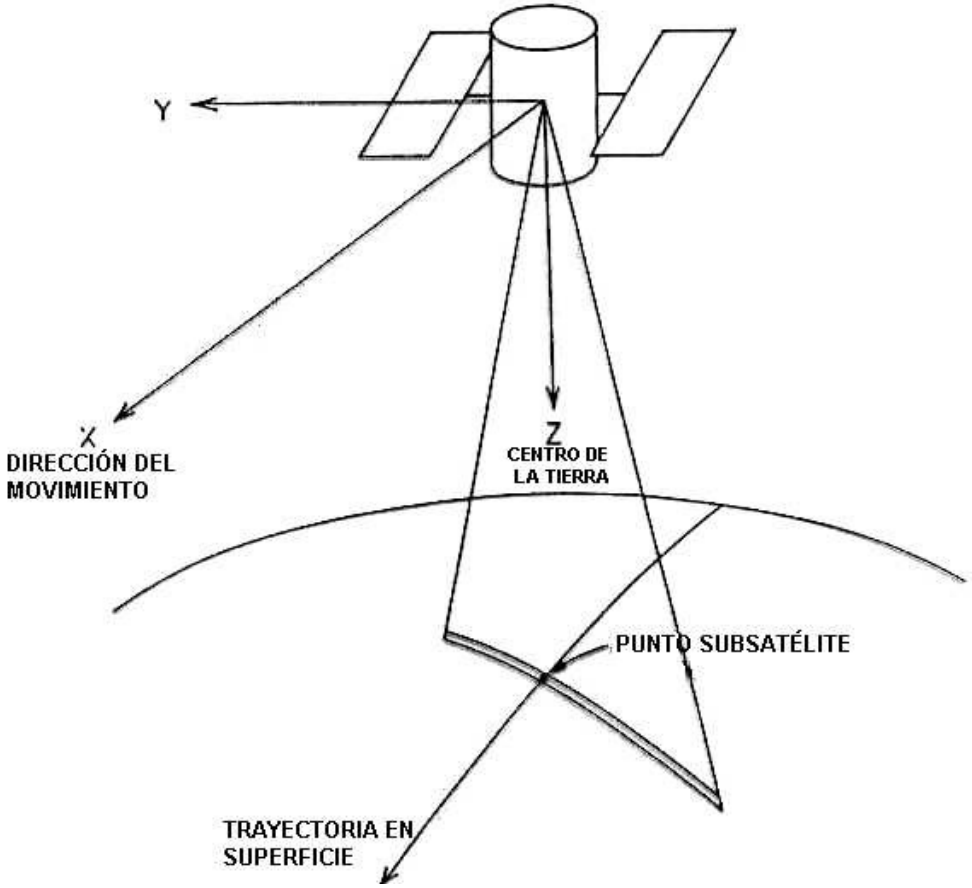
- *Imagen analógica (producto o visualización de una imagen digital)*

➢ Cada píxel de la matriz tiene, ***una dirección o localización (x,y)*** en lo que se denomina *"Sistema de coordenadas de la imagen en el satélite".*

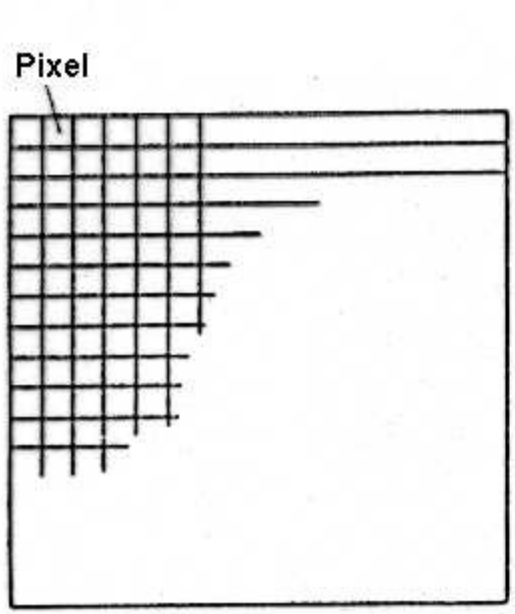


➢ Además, cada píxel tiene ***un valor numérico de intensidad (DN),*** que representa la cantidad física medida por el sensor, en un rango de longitudes de onda, tales como radiación solar reflejada, radiación infrarroja emitida u ondas de radar retrodispersadas.

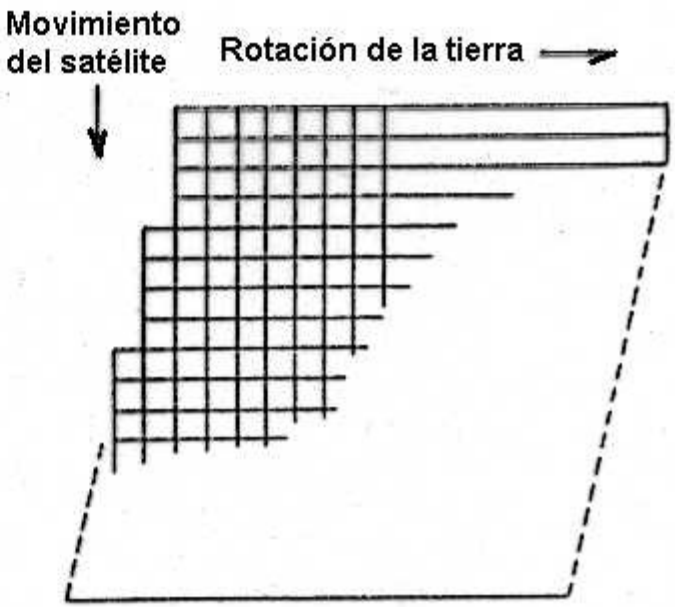
Sistema de coordenadas de la imagen en el satélite.



Inés Velasco



a Formato de la imagen



b Compensación por la rotación terrestre

- La ***resolución radiométrica*** está relacionada con el cambio de intensidad más pequeño que puede registrar el sensor, que está condicionada por la relación entre señal y ruido del detector.

- La intensidad de un píxel es el valor digitalizado y registrado de la variable física medida por el sensor. El sensor convierte la radiación recibida en una señal eléctrica digital (0-1) para ser retransmitida.

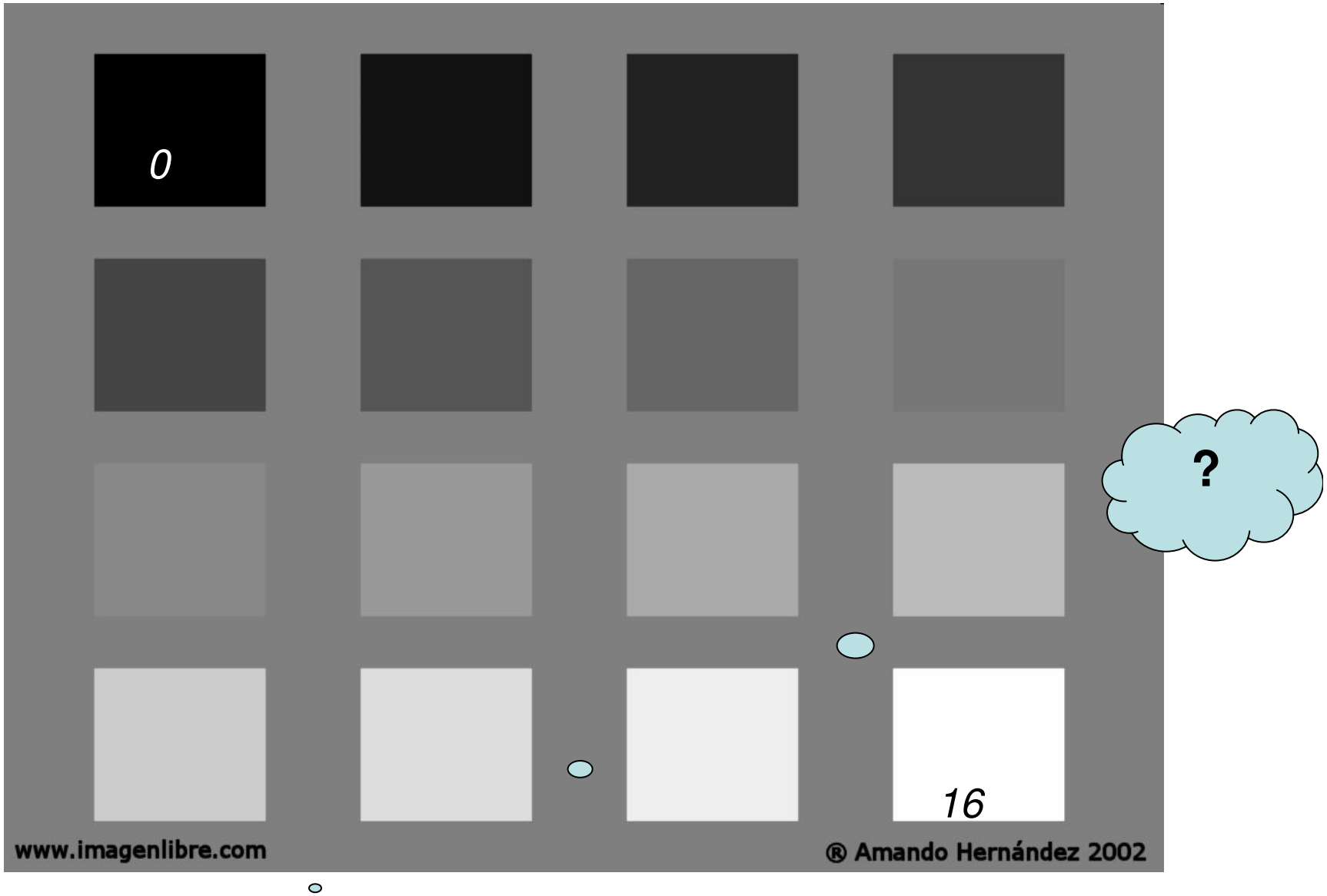
- Debido a la capacidad limitada de los sistemas de almacenamiento, estos valores son guardados como dígitos binarios.

- El número de bits define la ***resolución radiométrica*** de la imagen. O sea, el número de niveles discretos en que se puede dividir una señal. Por ejemplo:

$$8 \text{ bit} = 2^8 = 256 \Rightarrow 0 - 255 \quad (256 \text{ tonos de gris})$$
$$10 \text{ bit} = 2^{10} = 1024 \Rightarrow 0 - 1023 \quad (1024 \text{ tonos de gris})$$

- En una imagen digital, la resolución radiométrica está limitada por el número niveles discretos en que se puede dividir la señal.

Resolución radiométrica = ?



- Los ***valores de brillo*** de las imágenes crudas pueden convertirse a ***variables físicas*** a través de la aplicación de los parámetros de calibración que proveen las agencias que operan los satélites. Así se obtienen las ***imágenes calibradas.***

- Una imagen calibrada (procesada) también puede ser archivada en forma digital.

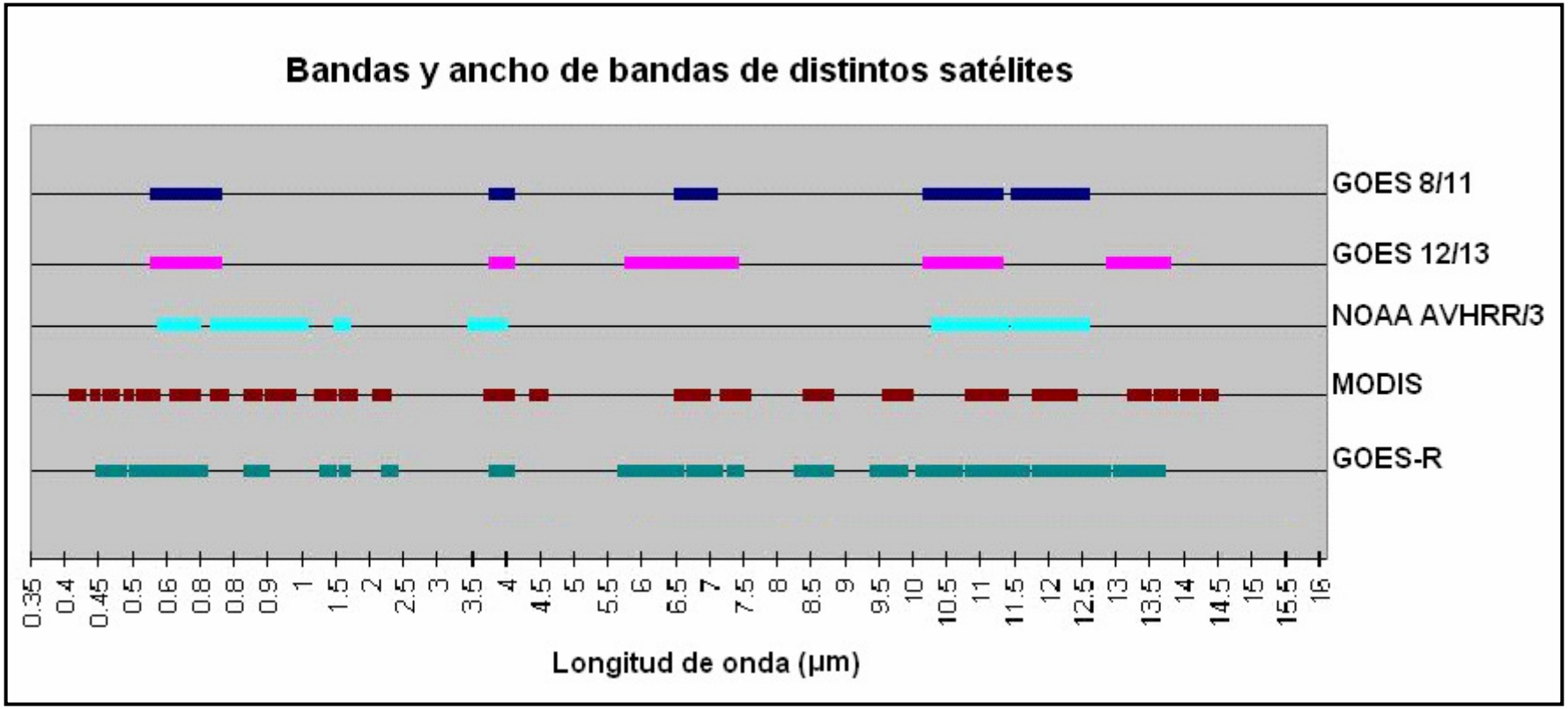
Oras características de los sensores son:

- ***Resolución espectral****:* Definida por el ***ancho de banda*** o **rango dinámico** (*) y el ***número de bandas****.*

Las bandas más angostas proveen mejor resolución y permiten separar mejor distintos blancos. Por Ej., para distinguir vapor de agua de Ci.

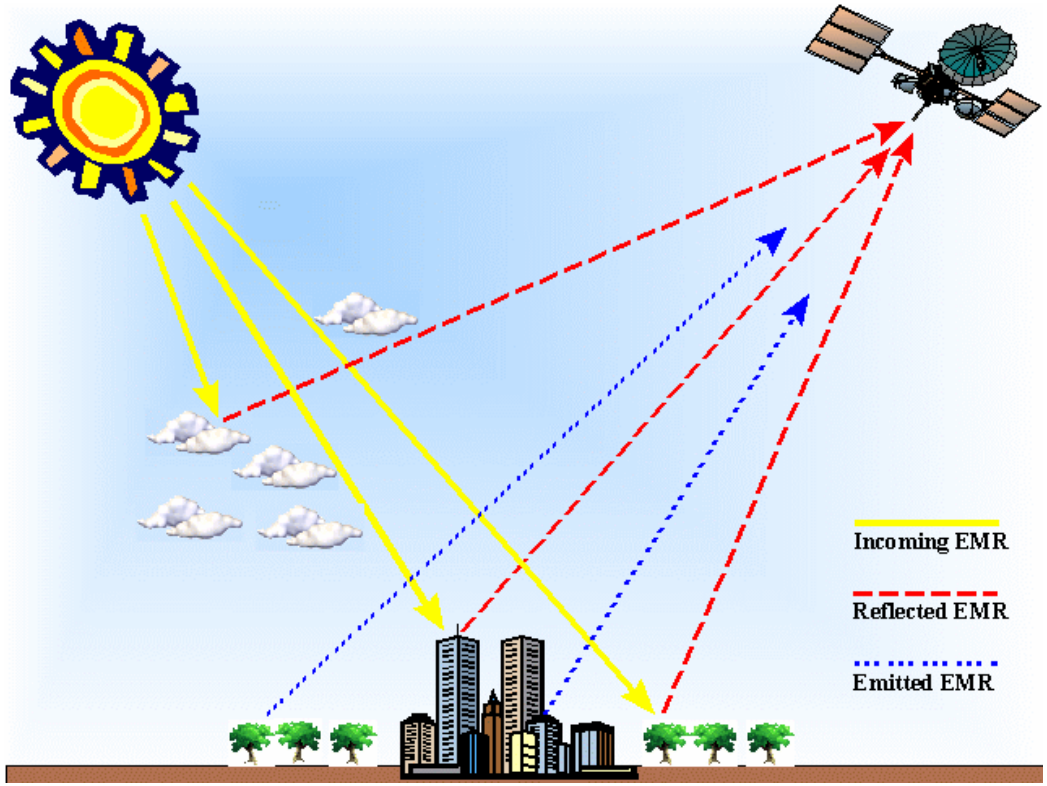
(*) determinado por la máxima radiación que puede medir un sensor.

- ***Resolución temporal:*** Es la frecuencia de paso del satélite por un mismo punto de la superficie terrestre *(**período de revisita**).* Depende básicamente de las características de la órbita.



Ejemplos de sensores con distinta ***resolución espectral*** (definida por el ***ancho de banda*** o ***rango dinámico*** y el ***número de bandas***.

Inés Velasco



- La señal recibida por un sensor en un satélite puede provenir de la energía emitida, la reflejada y/o dispersada.

- La disposición de los sensores captará cada una de las señales, de acuerdo al rango de longitud de onda en que operen (filtro).

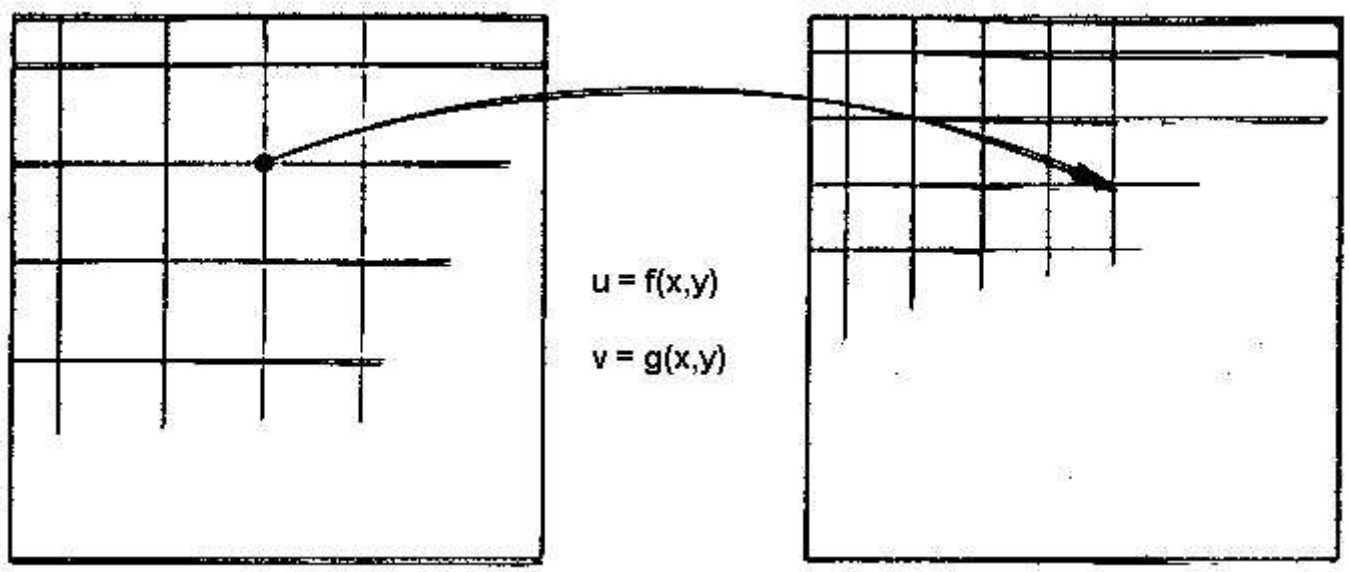
- Las señales pueden ser modificadas por el medio (atmósfera) entre la fuente y el sensor. ⇒ necesitan ser corregidas.

Origen y procesamiento (pre-procesamiento) de la señal que recibe el sensor:

- La señal que recibe el sensor, es la que sale del tope de la atmósfera (TOA) y que puede haber experimentado varios de los proceso ilustrados en la figura 12.
- La señal de respuesta del sensor representa ese valor, o sea el dato provisto por el sensor tiene un valor proporcional a la energía recibida desde el TOA.
- El total de energía se cuantifica en un número de valores (DN), que está definido por el *rango dinámico*.
- Estos valores de por sí no tienen significado físico, salvo el de ser proporcionales a la energía que impacta el sensor (*datos crudos*).
- Para que lo tengan, deben ser calibrados, es decir convertidos a radiancias y luego a reflectancias o temperaturas (*imagen calibrada*).
- Es conveniente que las imágenes además de calibradas, sean corregidas por la presencia de atmósfera (*imagen corregida*).
- Además, los datos, en general, deben estar localizados geográficamente (*imagen georeferenciada*).

Georeferenciar

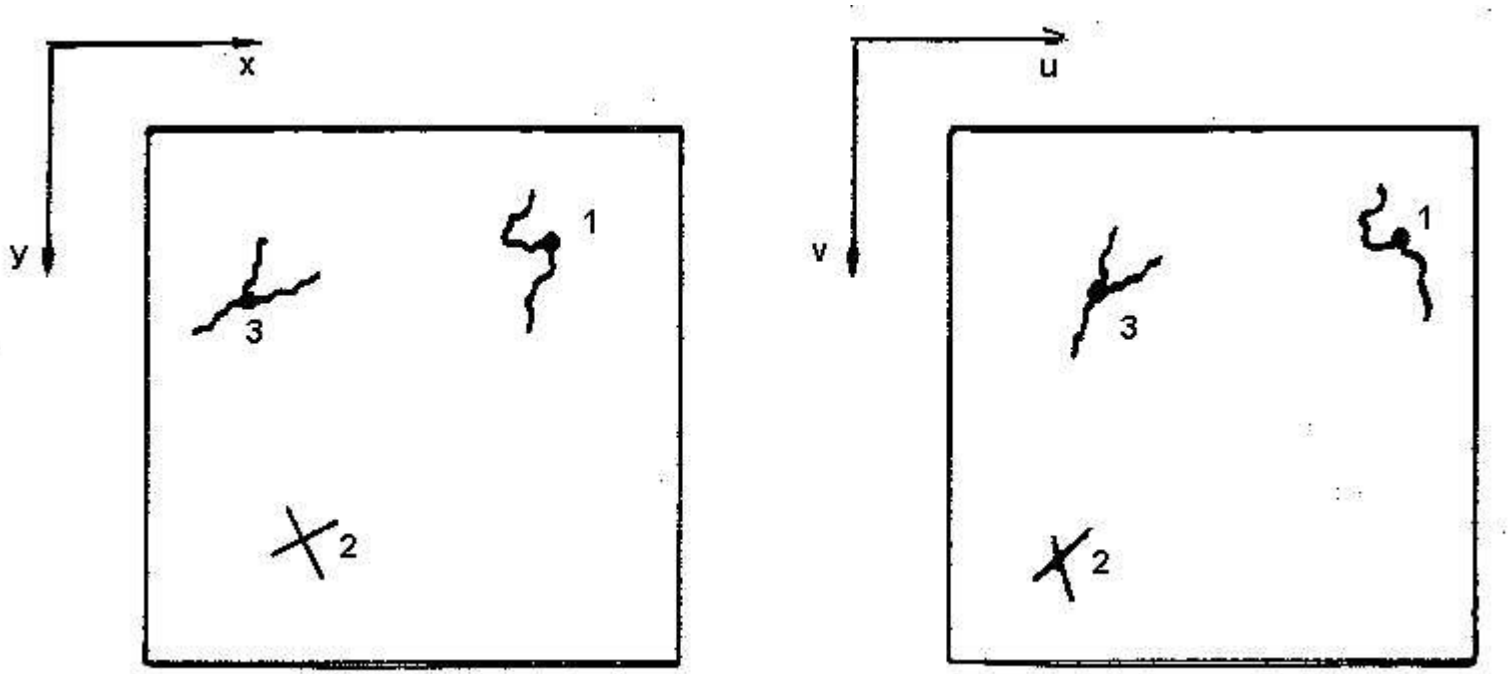
Implica pasar de las coordenadas del satélite a coordenadas cartográficas.



Hay dos técnicas:

1. Estableciendo fórmulas de corrección mediante modelos de la naturaleza y tipos de distorsión.
2. Estableciendo relaciones matemáticas entre la ubicación de los píxeles en una imagen (***puntos de control***) y las coordenadas correspondientes a esos puntos en superficie (vía un mapa).

Puntos de Control (GCPs): Puntos que pueden ser reconocidos y localizados en la imagen de brillos (archivo del satélite) y el mapa geográfico. Por Ej., lagos, istmos, cruces de rutas, etc., deben ser constantes en el tiempo y dependen de la resolución. Pueden ser determinados automáticamente o localizados visualmente.



Distintos Productos

- ***Imagen cruda***
- ***Imagen calibrada***
- ***Imagen corregida por atmósfera***
- ***Imagen georeferenciada***

- ***Imagen realzada:***

  1. por bandas (distintas técnicas)

  2. por combinación de bandas (distintas técnicas)

Fin clase 1- 2012