



Percepción Remota de Ciclones Tropicales: QSCAT y TRMM

Rosario Romero Centeno

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM

Segundo Curso de Primavera Sobre Ciclones Tropicales

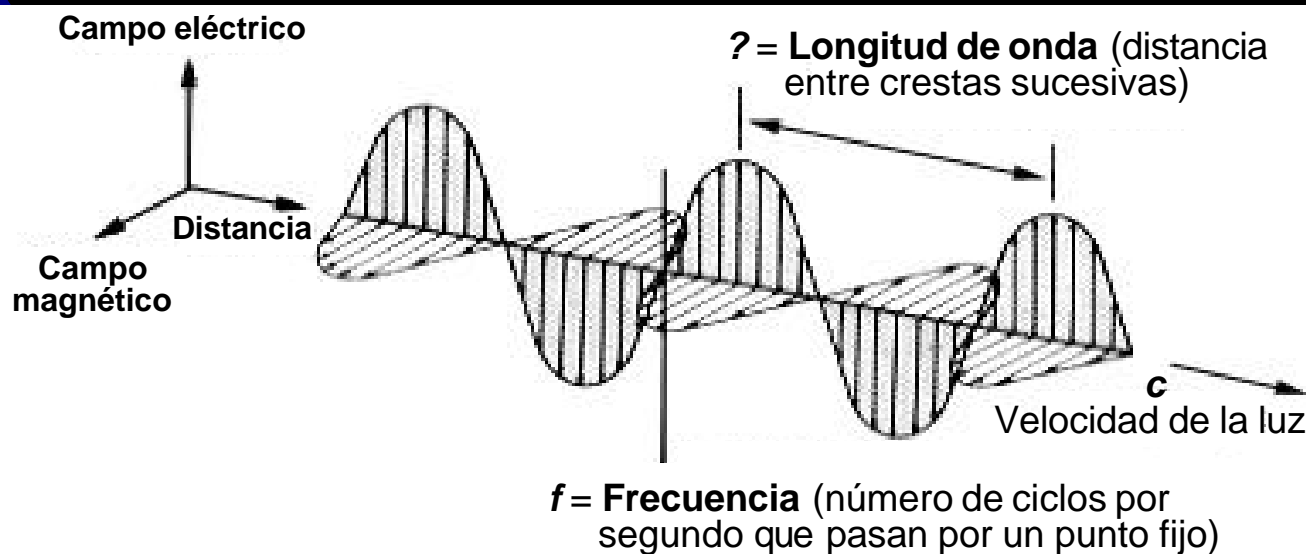
■ Acapulco, Gro., Marzo de 2009

Percepción remota

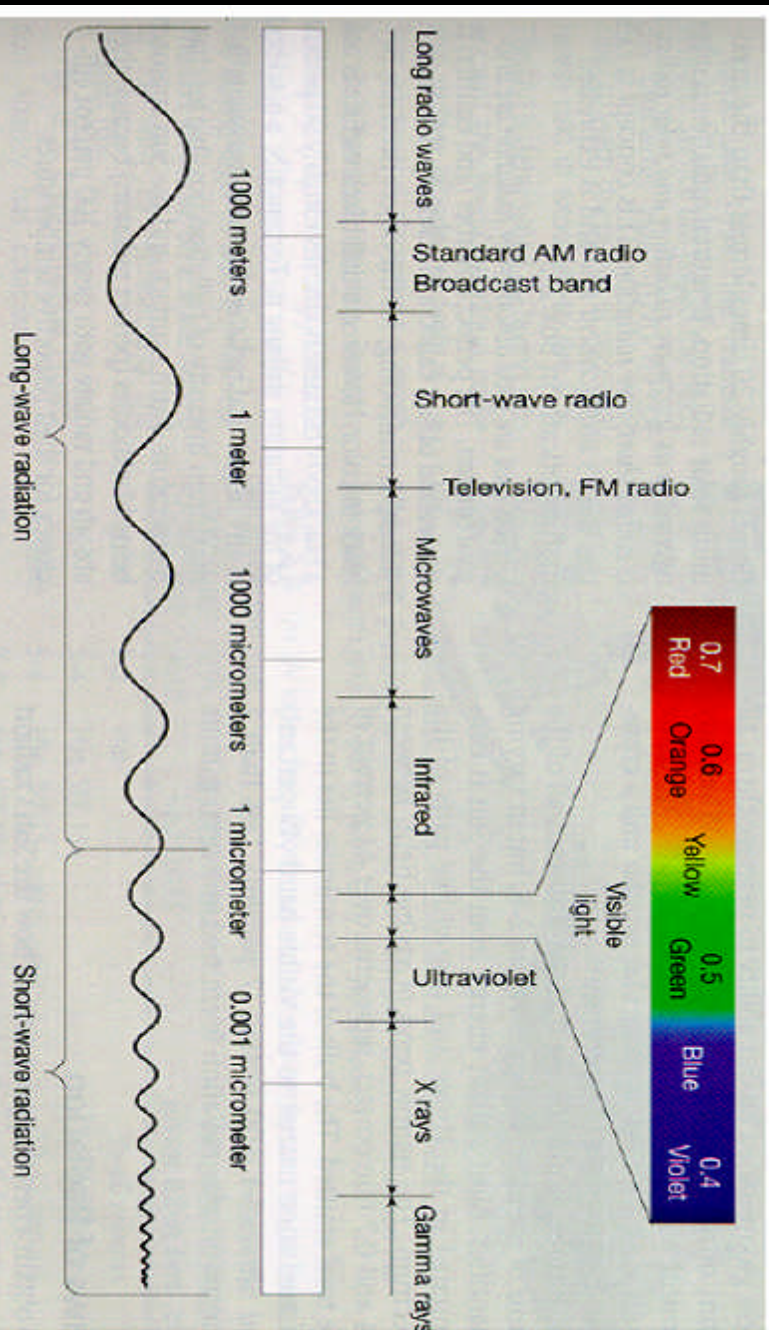
- La percepción remota (*remote sensing*) es el proceso mediante el cual se obtiene información acerca de un objeto o de un evento sin estar en contacto directo con él.
- Esto se logra mediante el monitoreo y registro de la energía electromagnética reflejada o emitida por los objetos de interés.
- La percepción remota puede utilizarse para investigar áreas de difícil acceso, proporcionando una visión detallada, permanente y objetiva.

Radiación Electromagnética

- La **radiación electromagnética** (REM) es energía que se propaga a través del espacio o de un medio material en la forma de una interacción entre un campo eléctrico y uno magnético. Estos campos están en fase siempre perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación. Ambos campos viajan a la velocidad de la luz ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$).
- Dos características de la REM son particularmente importantes para entender la percepción remota: la **longitud de onda** (?) y la **frecuencia** (f). $c = ?f$, $E = hf$



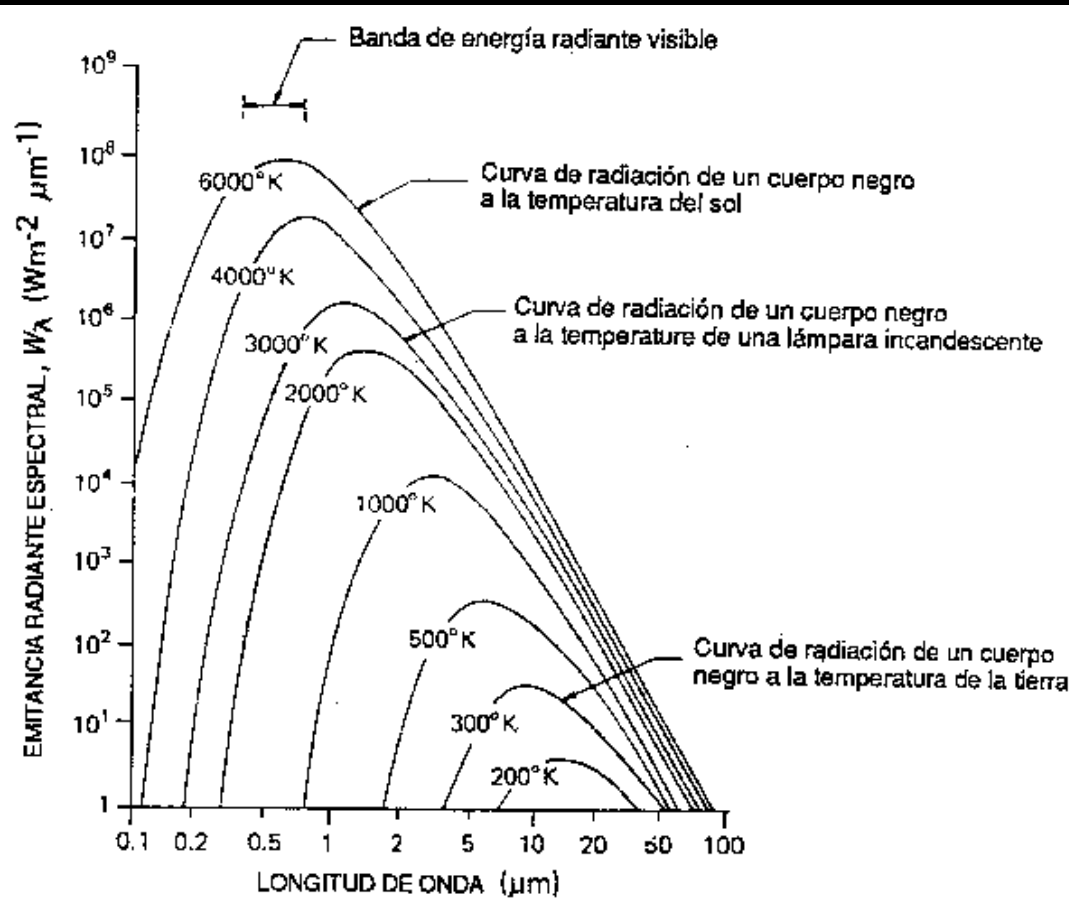
Espectro Electromagnético



Regiones del espectro EM que son útiles para la percepción remota:

- **UV** (0.3 - 0.4 μm)
- **Visible** ($\sim 0.4 - 0.7 \mu\text{m}$)
(?s entre 0.4 y 0.5 μm corresponden a la luz **violeta** y **azul**, entre 0.5 y 0.6 μm a la luz **verde**, y entre 0.6 y 0.7 μm a la luz **roja**)
- **IR cercano** (~ 0.7 a 3.0 μm)
- **IR medio** (3 μm a 8 μm)
- **IR lejano o térmico** (8-100 μm)
- **Microondas** (~ 1 mm a 1 m):
Ku-band (? muy cortas), X-band (reconocimiento militar y mapeo de terreno), C-band, S-band, L-band, P-band (las ? más largas usadas en radares)

Distribución espectral de la radiación



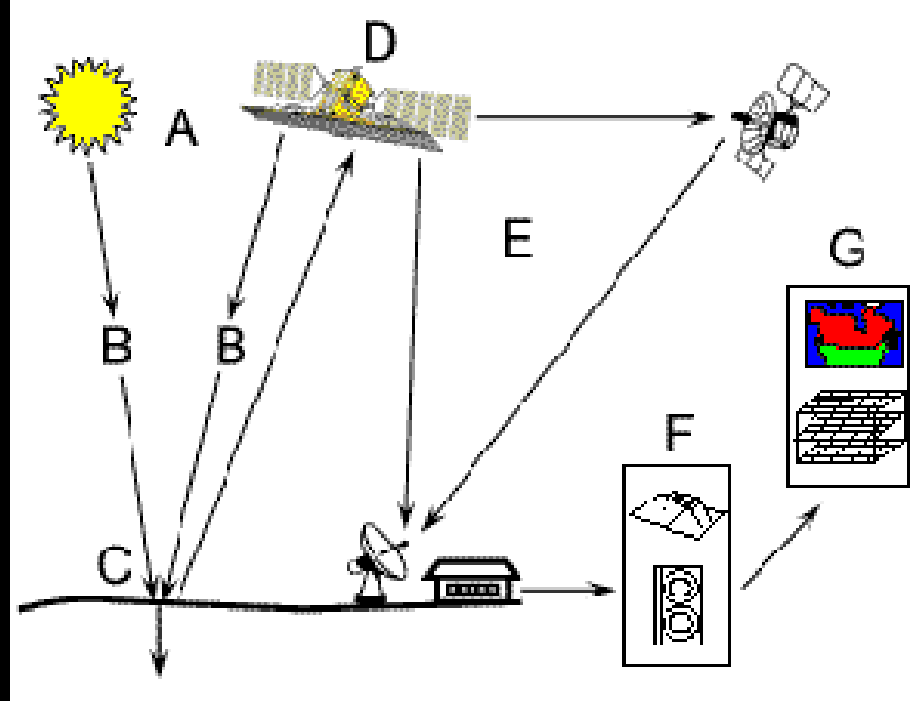
Cuerpo negro: Es aquel que absorbe y emite toda la REM que recibe.

- Todo cuerpo a temperatura mayor que el cero absoluto emite energía en forma de REM.

- Los cuerpos no emiten con igual intensidad en todas las longitudes de onda sino que obedecen la ley de Planck.

- La distribución espectral de radiación es continua y tiene un máximo que depende de la temperatura del cuerpo.

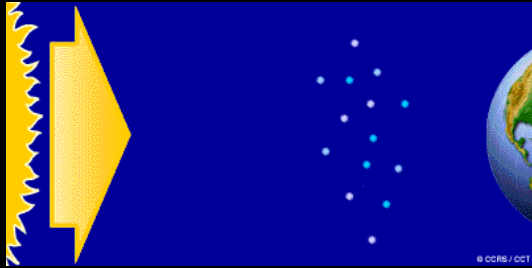
- A temperaturas más altas el pico del espectro se desplaza hacia longitudes de onda más cortas y la cantidad de energía radiada por la fuente se incrementa.



Elementos involucrados en el proceso de percepción remota:

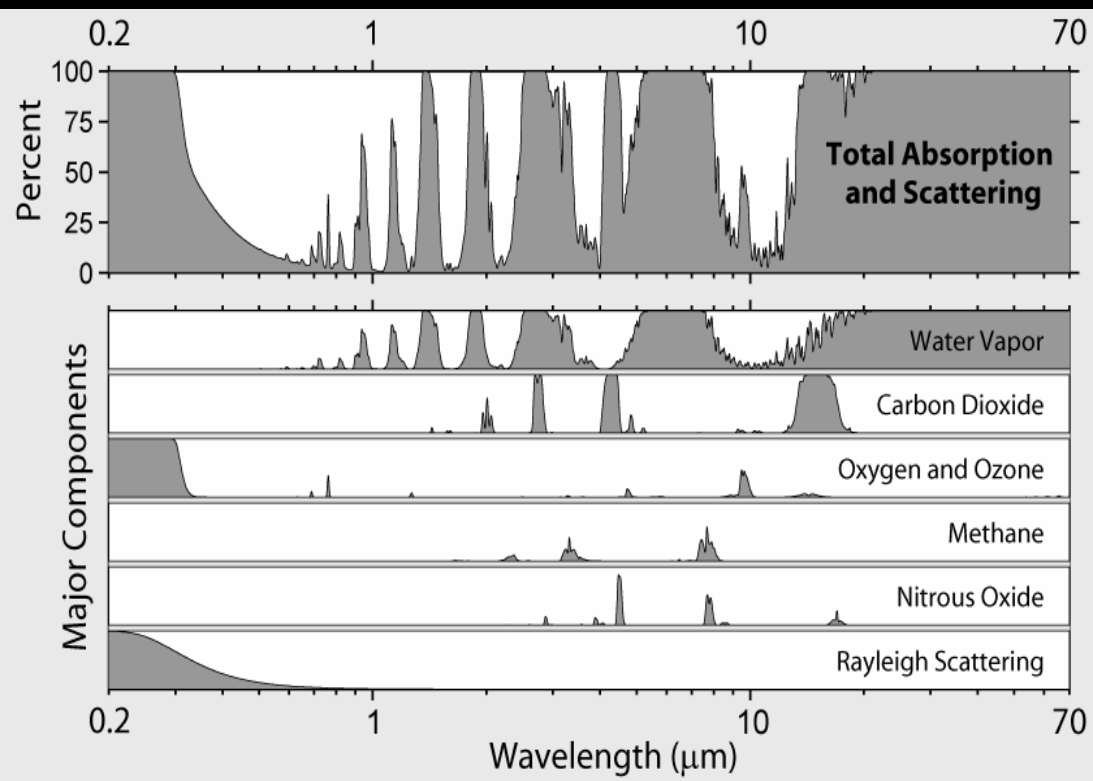
1. Fuente de energía o iluminación (A)
2. Propagación a través de la atmósfera (absorción, dispersión y transmisión) (B)
3. Interacción con el objeto (absorción, reflexión y transmisión) (C)
4. Registro de la energía por el sensor (D)
5. Transmisión, recepción y procesamiento de la información (E)
6. Interpretación y análisis (F)
7. Aplicación (demandas específicas) (G)

Propagación a través de la atmósfera



A = Absorción
B = Dispersión
C = Transmisión

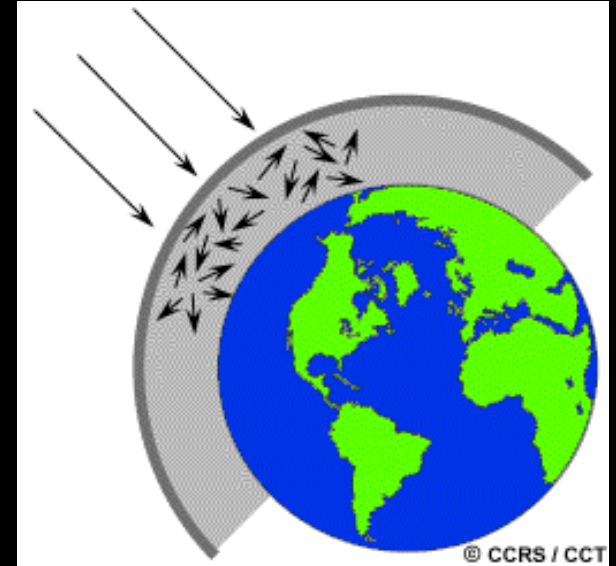
Bandas de absorción y ventanas atmosféricas



- La **absorción** es el proceso por el cual la energía de determinadas longitudes de onda es absorbida por una molécula o partícula y es convertida en energía interna.
- Las longitudes de onda que pasan a través de la atmósfera sin ser absorbidas constituyen las **ventanas atmosféricas**.
- La absorción en la atmósfera es causada principalmente por: vapor de agua, dióxido de carbono, oxígeno y ozono.

Dispersión

- La **dispersión** ocurre cuando partículas o grandes moléculas de gas en la atmósfera desvían la REM de su trayectoria original.
- La magnitud de la dispersión depende de varios factores: longitud de onda de la radiación, abundancia de partículas o gases, distancia que viaja la radiación a través de la atmósfera.

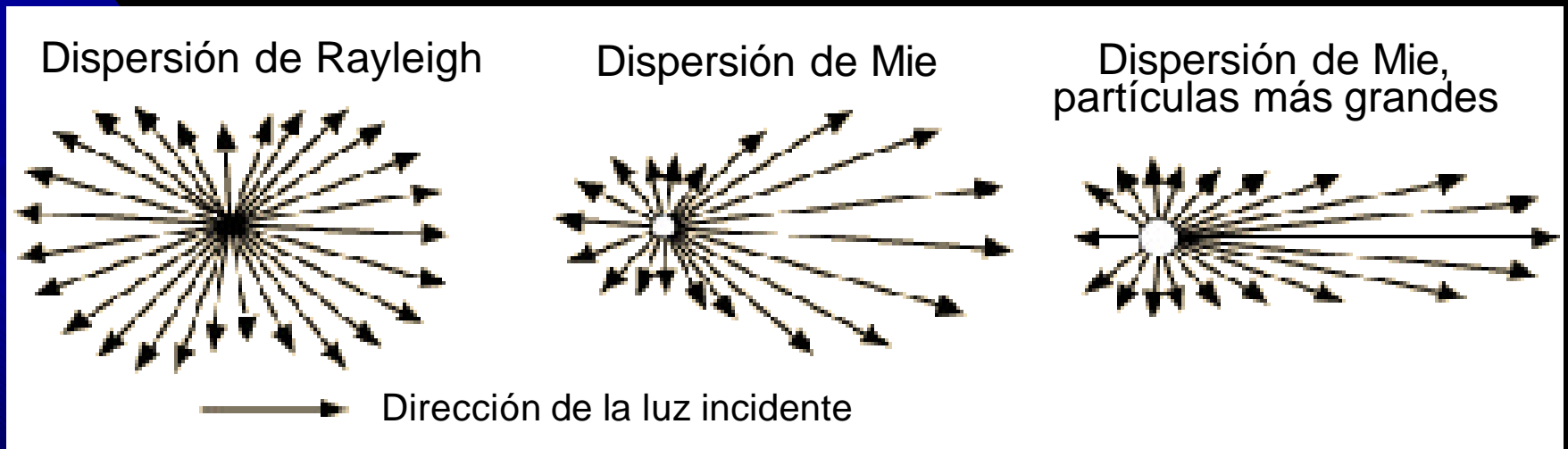


Tipos de dispersión

- ✦ **Rayleigh** - Es causada por moléculas (p.e. nitrógeno y oxígeno) y partículas que son considerablemente más pequeñas que las longitudes de onda de la radiación que afectan. Domina en la atmósfera alta y ocurre principalmente en las porciones UV y azul del espectro visible.



- ☀ **Mie** - Causada por partículas esféricas (polvo, polen, humo, vapor de agua) que son aproximadamente del mismo tamaño que la longitud de onda de la radiación que afectan. Ocurre principalmente en las partes bajas de la atmósfera, donde las partículas grandes son más abundantes. Produce el resplandor blanco alrededor del sol cuando hay muchas partículas en el aire.



- ✿ **No-selectiva** - Ocurre cuando las partículas son varias veces más grandes que las longitudes de onda afectadas. Todas las longitudes de onda son dispersadas más o menos de igual manera. Este tipo de dispersión causa la apariencia blanca de las nubes y de los bancos de niebla.



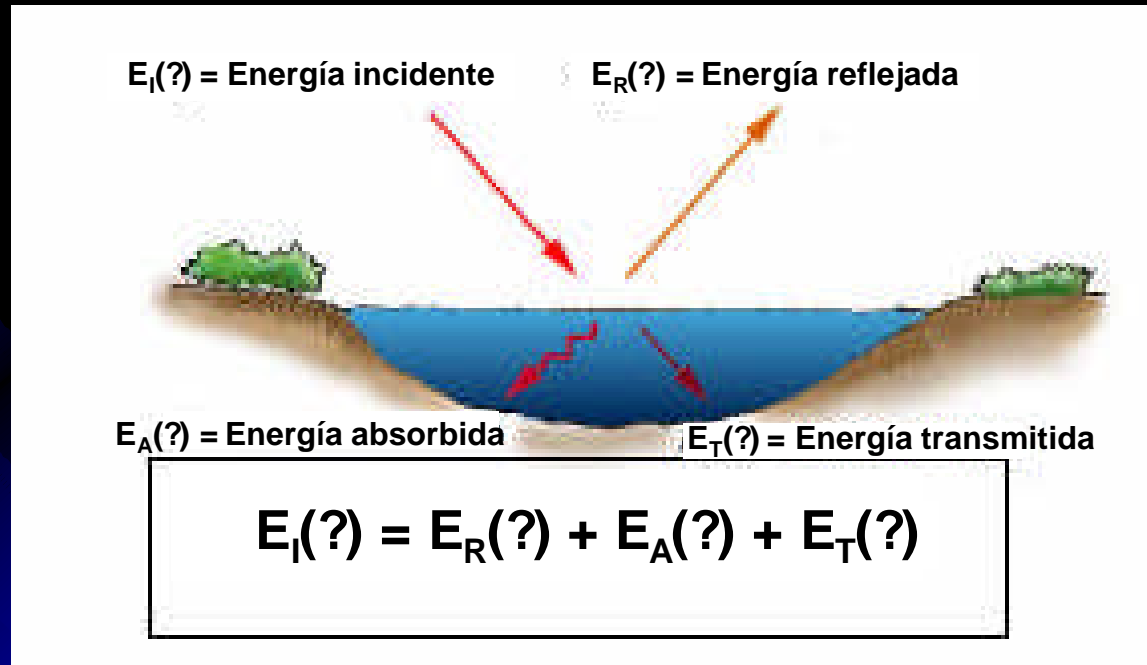


Efectos de la dispersión atmosférica en la PR

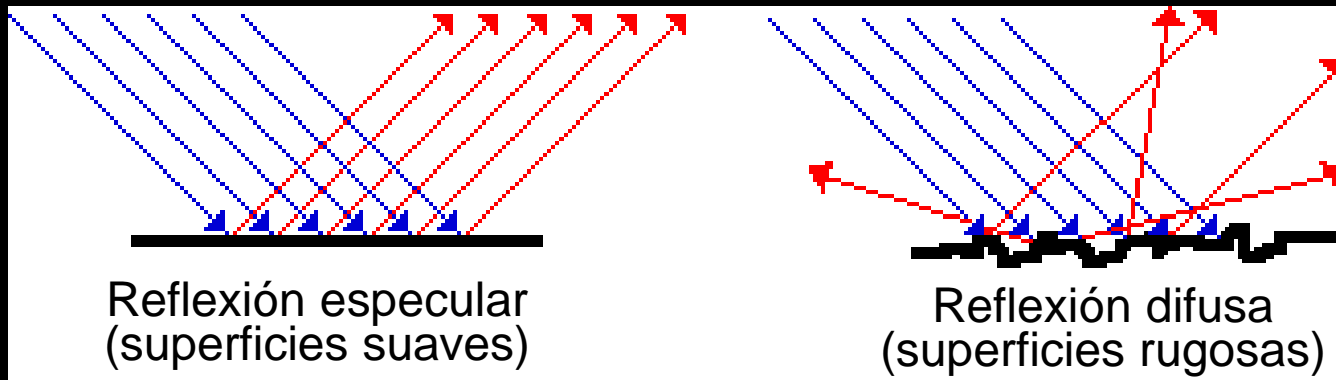
- ✿ La luminosidad de la atmósfera debida a la dispersión tiende a enmascarar las variaciones de luminosidad de rasgos en la superficie.
- ✿ La dispersión dirige energía desde fuera del campo de vista del sensor hacia el sensor. Como estas fuentes de radiación no emanan del objeto, actúan como una máscara de luminosidad uniforme, causando que áreas oscuras parezcan más luminosas y viceversa → El contraste en las imágenes se reduce severamente y los detalles son más difíciles de distinguir.
- ✿ Estos efectos pueden minimizarse mediante: a) el registro de señales en longitudes de onda que son menos afectadas por la dispersión, b) la comparación de mediciones realizadas simultáneamente en diferentes bandas, y c) la corrección de las imágenes.

Interacción con el objeto

Hay tres formas de interacción que pueden tener lugar cuando la energía incide sobre la superficie: absorción, transmisión y reflexión. La energía total incidente interactuará con la superficie en una o más de estas tres formas, dependiendo de la longitud de onda y de las características del objeto.

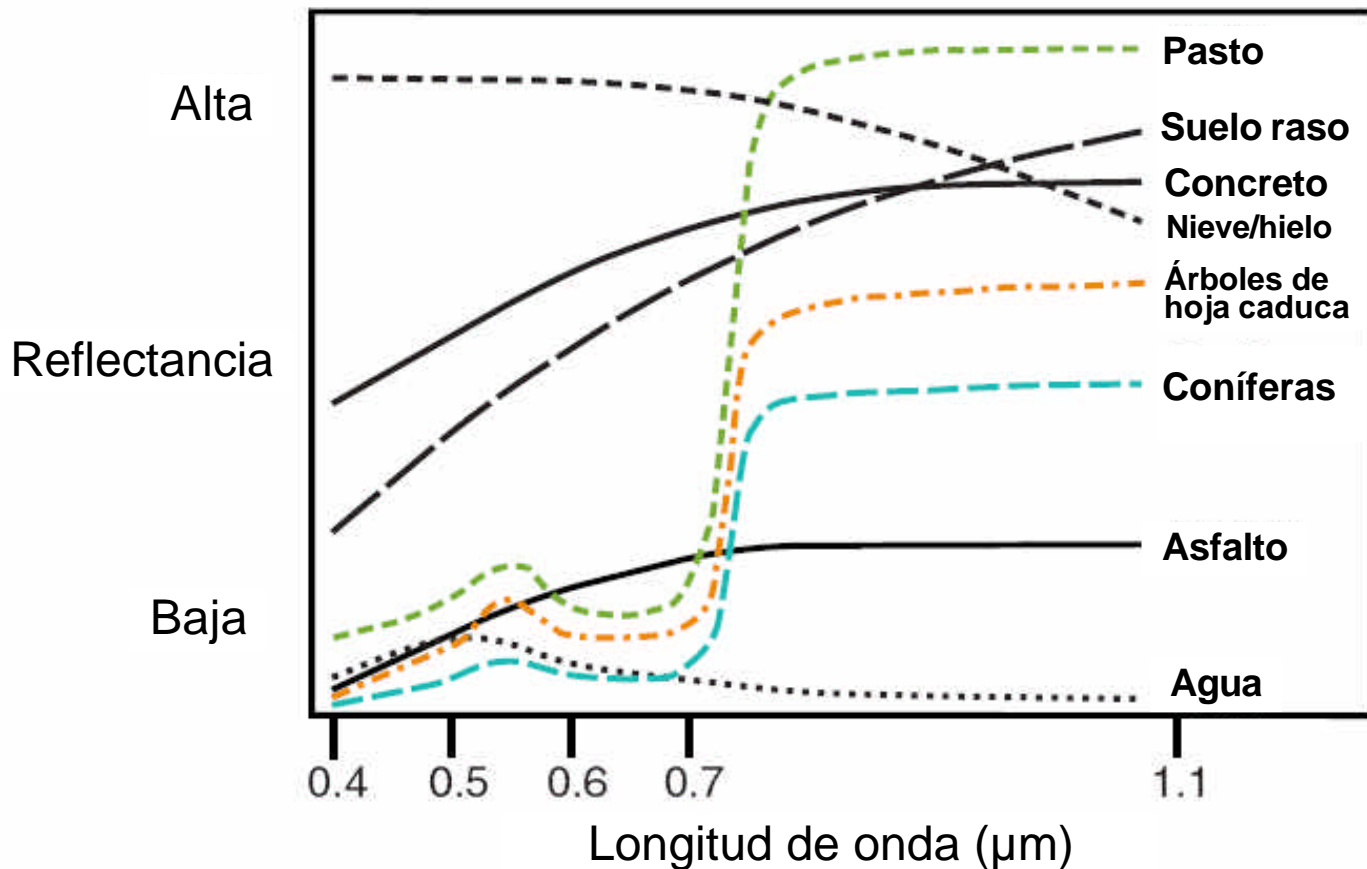


Reflexión



- ✿ El tipo de reflexión depende de la rugosidad de la superficie comparada con la longitud de onda de la radiación incidente. Si $\lambda \ll$ variaciones en la superficie, dominará la reflexión difusa.
- ✿ La mayoría de las superficies no son ni perfectamente especulares ni perfectamente difusoras.
- ✿ La cantidad de energía que es reflejada por un objeto en diferentes longitudes de onda es denominada la **reflectancia espectral** (propiedad intrínseca de cada material).

Curvas de reflectancia espectral



✿ Comparando los patrones de respuesta en distintas longitudes de onda podremos distinguir diferentes rasgos, lo que no podríamos hacer si únicamente comparamos en una longitud de onda.

- ✿ La respuesta espectral puede ser muy variable, aún para el mismo tipo de objeto, y también puede variar con el tiempo y la localidad.
- ✿ Saber donde “mirar” espectralmente y entender los factores que influyen la respuesta espectral de los rasgos de interés nos permite interpretar correctamente la interacción de la REM con la superficie.
- ✿ La radiancia medida por un sensor está dada por:

$$L_{Tot} = \rho ET/p + L_p$$

L_{Tot} – radiancia espectral total recibida por el sensor

ρ – reflectancia del objeto

E – irradiancia (energía incidente sobre el objeto)

T – función de transmisión atmosférica

L_p – radiancia proveniente del recorrido atmosférico

Sensores

✿ Un **sensor** es un dispositivo que detecta y mide parámetros físicos, tales como la radiación, y los convierte en una forma en la cual pueden ser almacenados o transmitidos. Cada sensor es diseñado para un propósito específico.

Plataformas de percepción remota



Sobre la superficie



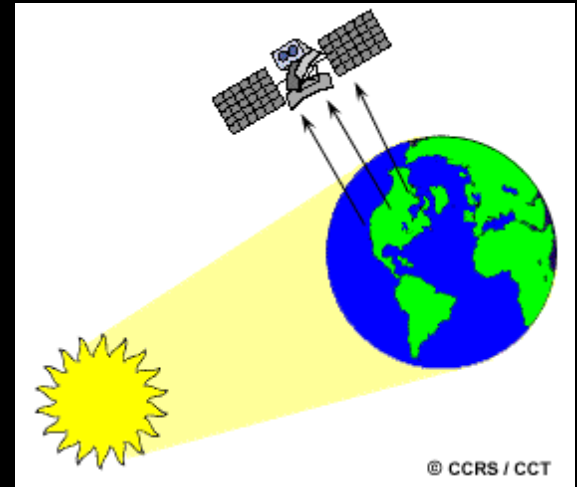
Aeronaves

Satélites

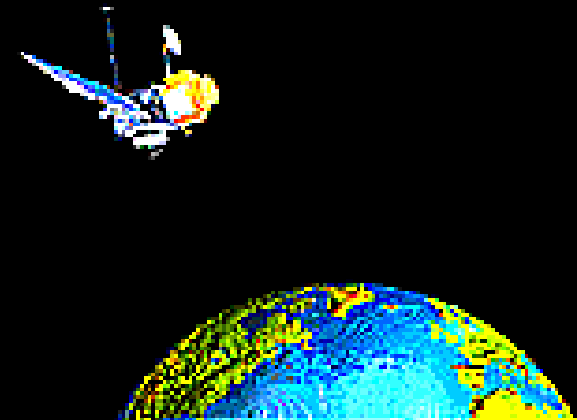


Tipos de sensores

✦ **Pasivos** - Los sistemas de percepción remota que miden la energía que está disponible de manera natural son llamados sensores pasivos.



✦ **Activos** - Proporcionan su propia fuente de energía para la iluminación. El sensor emite radiación hacia el objeto que se quiere investigar y la radiación reflejada por él es detectada y medida por el sensor.



Tipo de Sensor

Pasivo

Imagen

Escáner

Cámara

Monocromática

Color natural

Infrarroja

Infrarrojo en color

No-Imagen

Radiómetro de microondas

Sensor magnético

Gravímetro

Espectrómetro de Fourier

Activo

Imagen

Radar de apertura real

Radar de apertura sintética

No-Imagen

Radiómetro de microondas

Altímetro de microondas

Medidor laser de profundidad de agua

Medidor laser de distancia

- Los sensores registran la REM como un arreglo de números en un formato digital. La información proveniente de un rango angosto de longitudes de onda es reunida y almacenada en un **canal** o **banda**.

Banda	Longitud de onda ($\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$)	Ubicación espectral nominal	Aplicaciones principales
1	0.45 – 0.52	Azul	Diseñado para la penetración en cuerpos de agua. Útil para el mapeo de aguas costeras, discriminación suelo/vegetación, mapeo del tipo de bosque e identificación de rasgos culturales.
2	0.52 – 0.60	Verde	Mide el máximo de reflectancia verde de la vegetación para discriminación de la vegetación y evaluación del vigor. También útil para identificación de rasgos culturales.
3	0.63 – 0.69	Rojo	Detecta en una región de absorción de la clorofila para la diferenciación de especies de plantas. También útil para identificación de rasgos culturales.
4	0.76 – 0.90	Infrarrojo cercano	Útil para determinar tipos de vegetación, vigor y contenido de biomasa, para delinear cuerpos de agua y discriminación de humedad del suelo.
5	1.55 – 1.75	Infrarrojo medio	Indicativo del contenido de humedad en la vegetación y el suelo, y para distinguir nieve de nubes.
6	10.4 – 12.5	Infrarrojo térmico	Útil para el análisis de estrés en la vegetación, discriminación de humedad del suelo y aplicaciones de mapeo térmico.
7	2.08 – 2.35	Infrarrojo medio	Útil para la discriminación de tipos de roca y minerales. También es sensible al contenido de humedad en la vegetación.

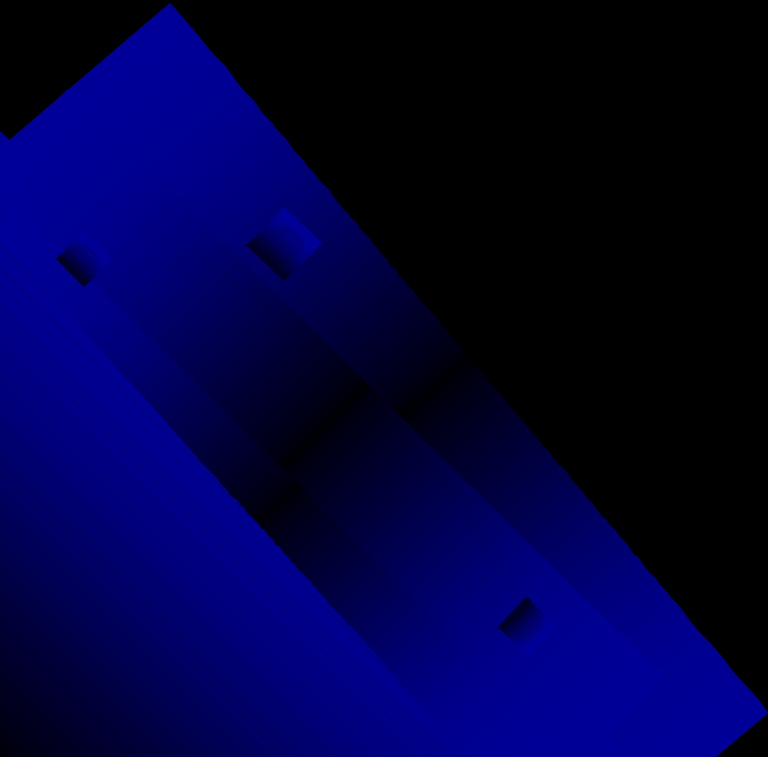
Resolución de los sensores

- **Resolución espectral:** Amplitud de la **banda espectral**, e.d., grado en el que el rango limitado de longitudes de onda es detectado por un sensor dado. Algunos sensores están compuestos por un cierto número de detectores, cada uno de ellos sensible a una diferente banda espectral (sensores **multiespectrales** o **multibandas**). A través de la observación de la Tierra en dos o más bandas simultáneamente, es posible discriminar respecto a un gran rango de características de los objetos.
- **Resolución espacial:** Nivel de detalle espacial que puede ser observado o grabado por un sensor. Descrita usualmente en términos de la unidad de área más pequeña que puede ser distinguida de sus vecinos. En un sensor de imágenes, los elementos individuales que componen una imagen son llamados **pixeles**.

Resolución de los sensores (cont.)

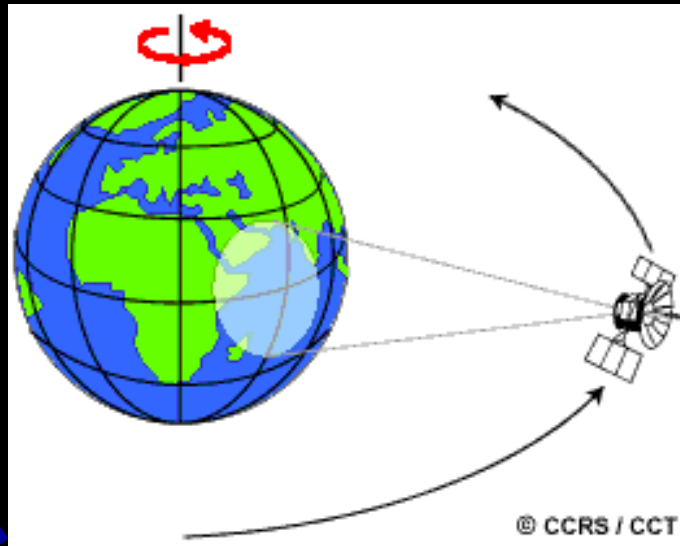
- **Resolución radiométrica:** Describe la capacidad de un sensor para discriminar diferencias muy pequeñas en la energía reflejada o emitida.
- **Resolución temporal:** Se refiere al tiempo que tarda un satélite en completar una órbita completa.

Parámetros Orbitales

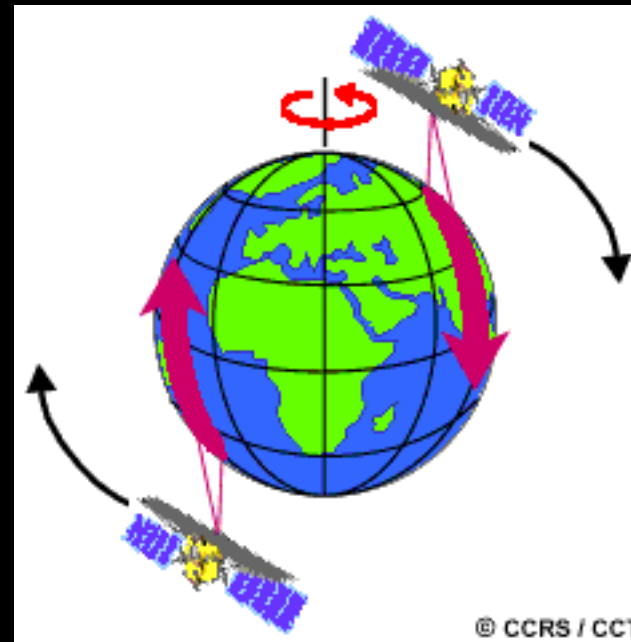
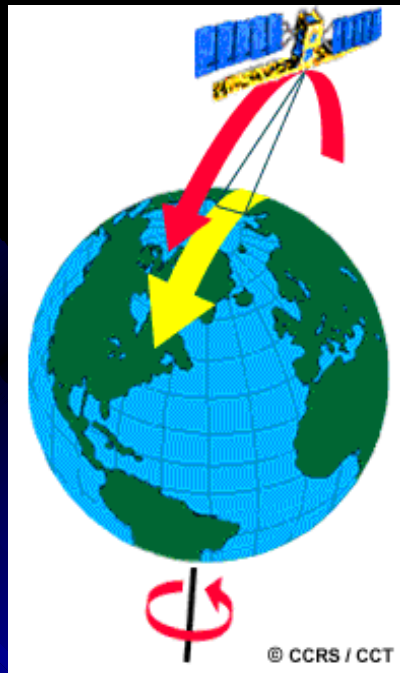


Órbitas de los Satélites

- La trayectoria seguida por un satélite se conoce como su **órbita**. La elección de la órbita puede variar en términos de la altura sobre la superficie y de su orientación y rotación relativas a la Tierra. El tiempo que tarda el satélite en recorrer una órbita se denomina **período orbital**.
- Órbita geoestacionaria** – El satélite mantiene la misma posición con respecto a la Tierra en rotación, observando la misma porción de la superficie en todo momento. Los satélites geoestacionarios giran a una altura muy elevada de ~35,800 km lo cual produce un período orbital igual al período de rotación de la Tierra.



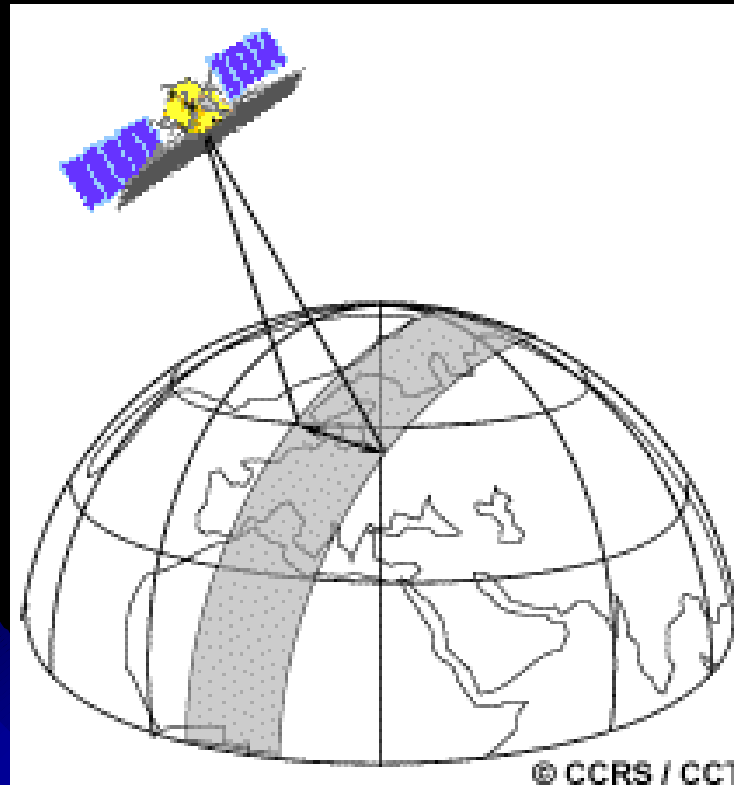
- **Órbita polar o cuasi-polar** – El plano orbital del satélite tiene una inclinación con respecto al plano ecuatorial (de 90° en una órbita polar). Estos satélites giran a una altura de 600 a 800 km, cubriendo mejor las partes más difíciles para hacer mediciones in situ.
- El satélite viaja hacia el norte sobre un lado de la Tierra (**paso ascendente**) y después hacia el sur sobre la segunda mitad de su órbita (**paso descendente**).



- **Órbita de sincronía solar** – Es una órbita geocéntrica que combina altura e inclinación de modo que el satélite pasa sobre cualquier punto de la superficie de la Tierra a la misma hora local durante todas las estaciones del año. Generalmente los satélites de órbita cuasi-polar operan en órbitas de sincronía solar. Los períodos orbitales típicos están en el rango 96 – 100 minutos e inclinaciones de alrededor de 98° .
- **Órbitas inclinadas** – Tienen una inclinación entre 0° y 90° y se determinan según la región de interés sobre la superficie. La altura orbital es generalmente de unos cuantos cientos de km, de modo que el período orbital es del orden de pocas horas. Los satélites con órbitas inclinadas no son de sincronía solar.

Franja de barrido o swath

- Conforme un satélite gira alrededor de la Tierra, el sensor “ve” una cierta porción de la superficie. El área muestreada sobre la superficie es conocida como el **swath** o **franja de barrido**.



MISIONES SATELITALES

TRMM y QSCAT



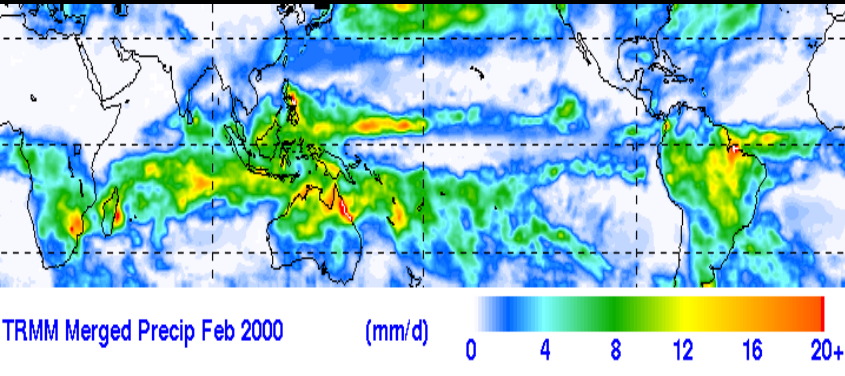
SATELITE TRMM

(Tropical Rainfall Measuring Mission)

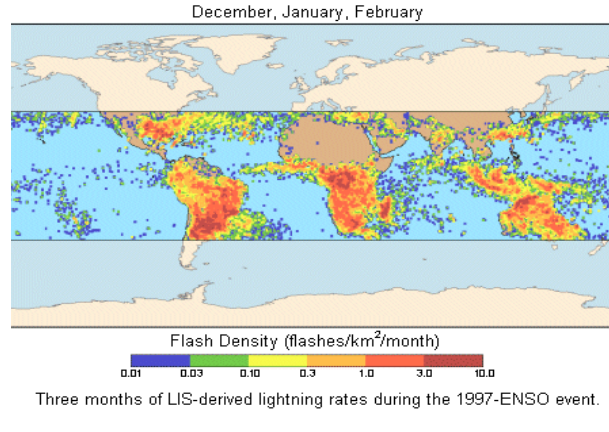
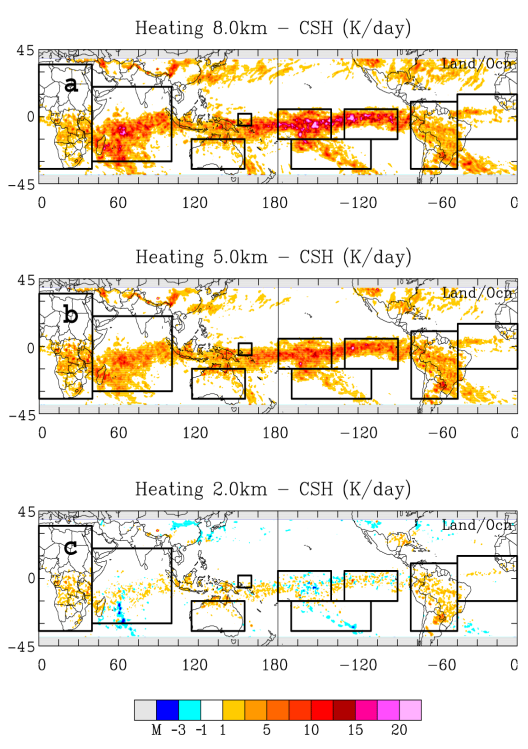
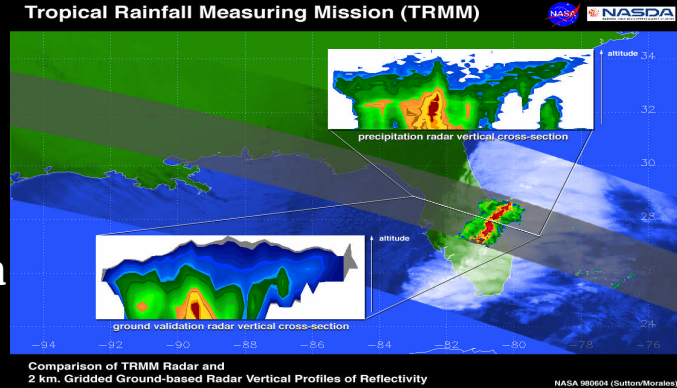
- ★ Primera misión dedicada a medir la precipitación en los trópicos y subtrópicos.
- ★ Mediciones usadas para saber en dónde está lloviendo y con qué intensidad, así como para entender cómo y por qué llueve.



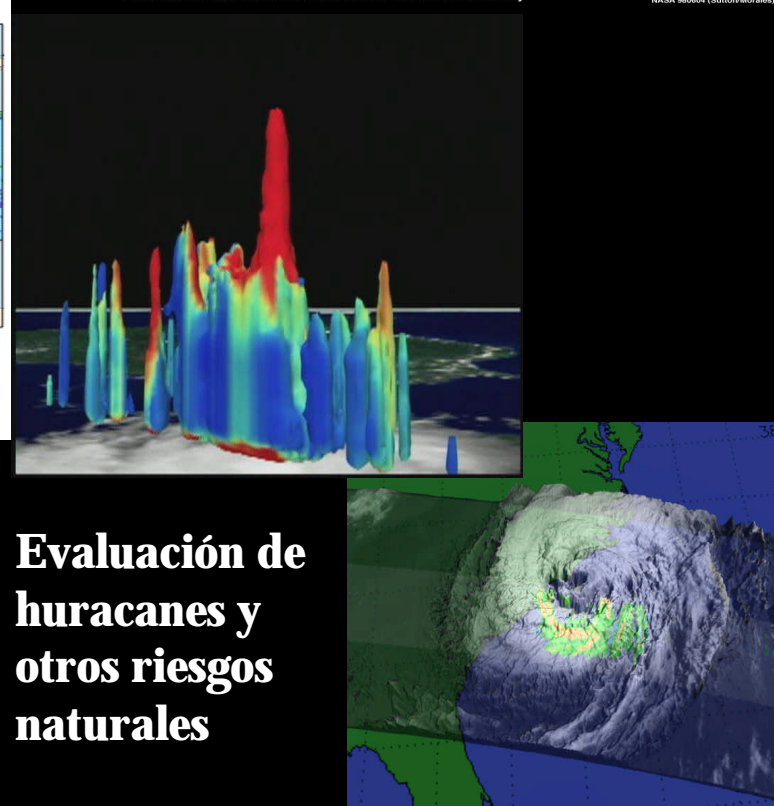
Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)



Medición de la precipitación en los trópicos y comprensión de procesos del clima



Estudio de procesos como el calor latente, descargas eléctricas y otros procesos físicos



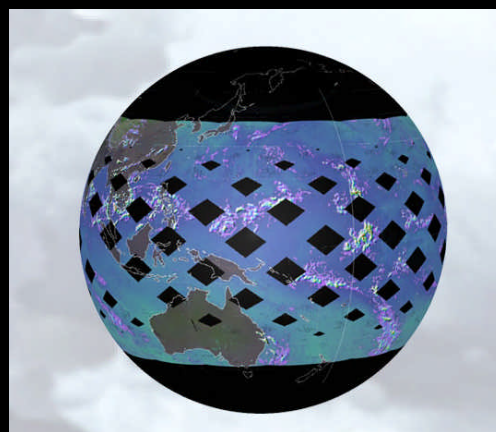
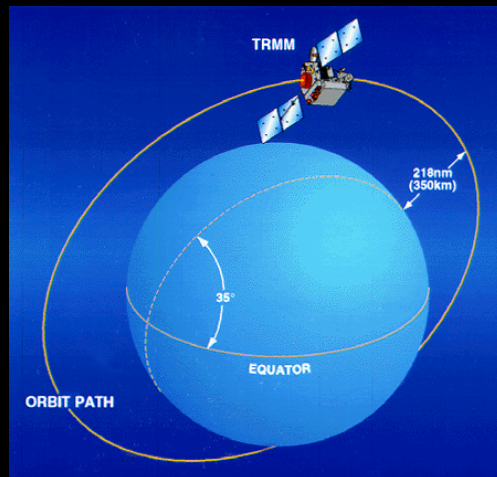


Órbita y cobertura del TRMM

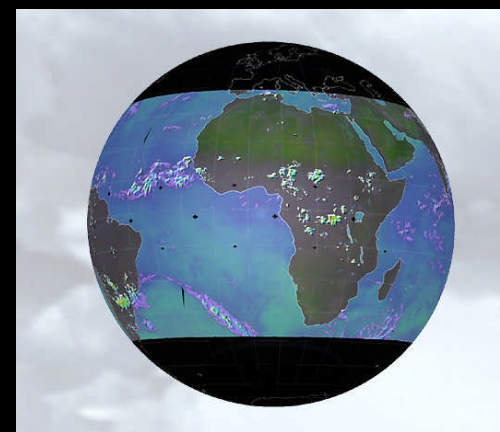
Fecha de lanzamiento:
Noviembre 27, 1997

Órbita circular a una altura de 350 km e inclinación de 35° con el ecuador, para obtener una resolución espacial alta y capturar la variación diurna de la lluvia tropical

91 minutos para completar una órbita;
~16 órbitas en 24 horas



Cobertura en 1 día



Cobertura en 2 días





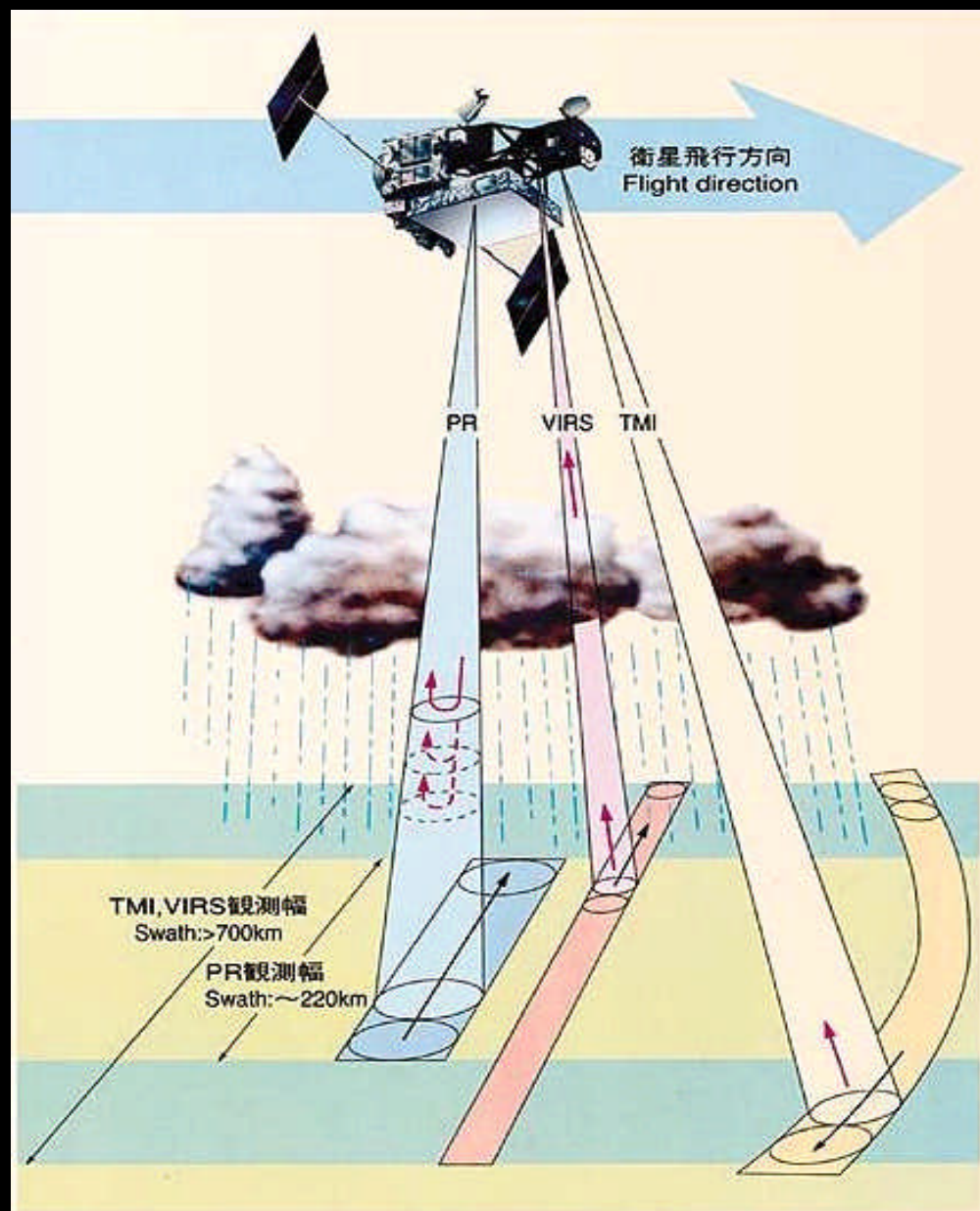
Sensores del TRMM

- ★ Precipitation Radar (PR):
 - 13.8 GHz
 - 4.3 km footprint
 - 0.25 km vertical res.
 - 215 km swath
- ★ Microwave radiometer (TMI):
 - 10.7, 19.3, 21.3, 37.0
 - 85.5 GHz (dual polarized except for 21.3 V-only)
 - 10x7 km FOV at 37 GHz
 - 760 km swath
- ★ Visible/Infrared radiometer (VIRS):
 - 0.63, 1.61, 3.75, 10.8, and 12 μm
 - at 2.2 km resolution

Instrumentos adicionales:

CERES (Cloud & Earth Radiant Energy System) 720 km swath

LIS (Lightning Imaging Sensor)



Radar de Precipitación (PR)

- ★ Primer instrumento diseñado para proporcionar mapas tridimensionales de la estructura de las tormentas; información sobre la intensidad y distribución de la lluvia, el tipo de lluvia y la profundidad de las tormentas.
- ★ Proporciona perfiles verticales de la lluvia y nieve desde la superficie hasta una altura de aproximadamente 20 km. Es capaz de detectar lluvia muy ligera de hasta 0.7 mm/hr.

Microwave Imager (TMI)

- ★ Sensor de microondas que proporciona información cuantitativa de la precipitación sobre una franja ancha de 878 km sobre la superficie.
- ★ Cuantifica el vapor de agua, el agua en las nubes y la intensidad de la lluvia.
- ★ Mide la intensidad de la radiación en cinco frecuencias separadas: 10.7, 19.4, 21.3, 37 y 85.5 GHz, que lo hace mejor a los instrumentos predecesores.

Sensores de radiación Visible e Infrarroja (VIRS)

- ★ Indicador indirecto de la lluvia. Empata las mediciones del TRMM con otras mediciones rutinarias hechas por los satélites de órbita polar (POES) y de órbita geoestacionaria (GOES).
- ★ Detecta la radiación proveniente de la Tierra en cinco bandas espectrales que van del visible al infrarrojo (0.63 a 12 micrometros). La intensidad de la radiación se usa para determinar la luminosidad (visible e IR cercano) o la temperatura (IR) de la fuente.
- ★ Si el cielo está despejado, la T corresponderá a la de la superficie terrestre; si hay nubes la T será la del tope de las nubes. Como las nubes más frías ocurren a mayores alturas, las temperaturas estimadas indican su altura y las nubes más altas pueden asociarse con la presencia de lluvia.

Imágenes simultáneas de los sensores: PR, TMI y VIRS

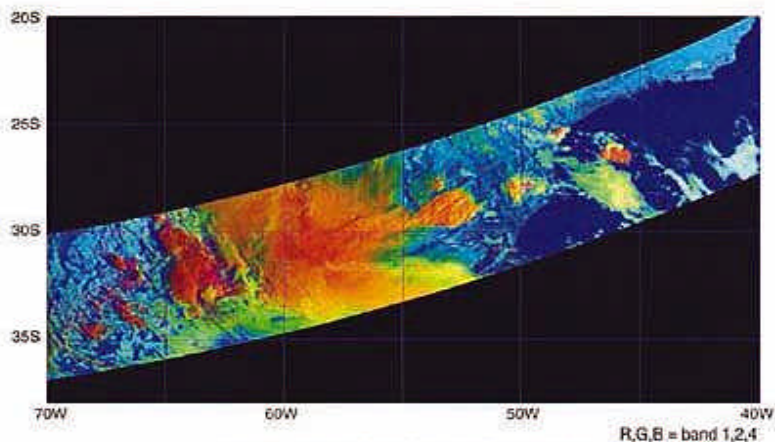


Fig.1 VIRS: RGB color composite

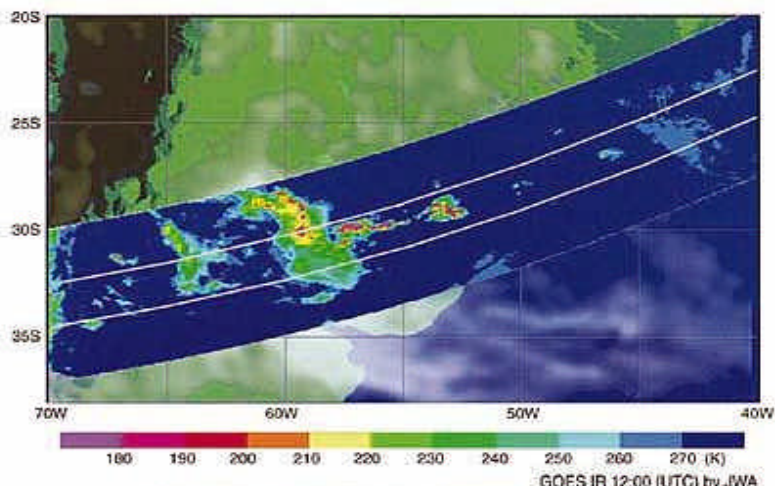


Fig.2 TMI: 85GHz V-POL, Brightness Temperature

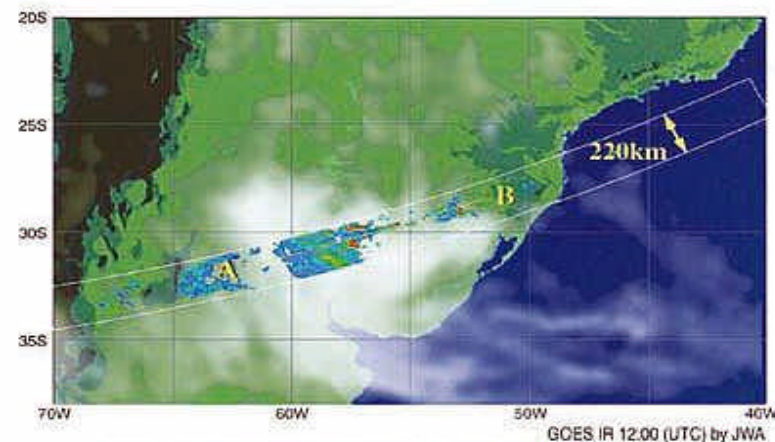


Fig.3 PR: Horizontal Cross Section of Rain at 2.0km Height

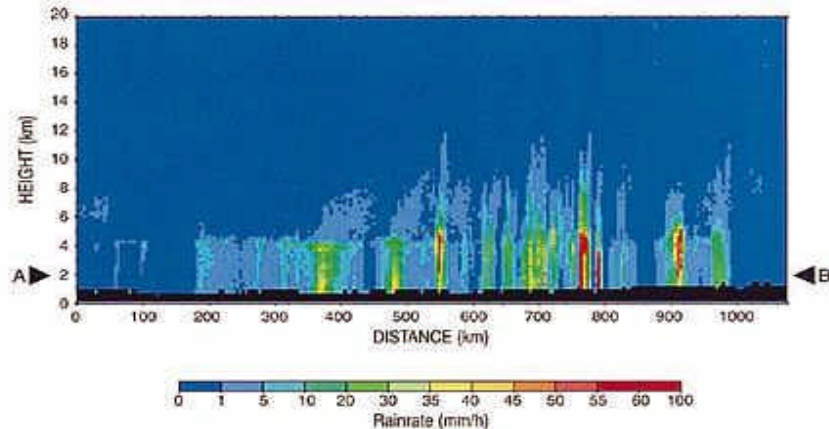


Fig.4 PR: Vertical Cross Section

Datos del TRMM (ejemplo)

- ★ Producto 3B42 V6: usa una combinación de estimaciones de precipitación del TRMM y otros satélites para ajustar las estimaciones basadas en mediciones de radiación infrarroja de los satélites geoestacionarios.
- ★ Resolución: 0.25 x 0.25 lat-lon, tasa de precipitación en 3 horas.
- ★ Cobertura espacial: 50 S-50 N, global.
- ★ Unidades: mm/hr
- ★ Formato de los archivos de datos: HDF (Hierarchical Data Format). Nombre de los archivos: 3B42.YYMMDD.H.6.HDF. En Matlab usar hdftool.
- ★ Los datos se bajan de:
http://daac.gsfc.nasa.gov/precipitation/data_products.shtml

SeaWinds/QuikBird (QuikSCAT)

- ★ Los escaterómetros son únicos entre los sensores satelitales remotos en su capacidad para medir la dirección y rapidez del viento sobre los océanos.
- ★ Emiten pulsos de microondas hacia la superficie de la Tierra y miden la energía retrodispersada (sensor activo).
- ★ En superficies de agua la rugosidad está altamente correlacionada con la rapidez y dirección de los vientos cerca de la superficie.

- ☾★ Mediciones esenciales para los estudios de interacción océano-atmósfera y de circulación oceánica y para mejorar el pronóstico de los modelos numéricos.
- ☾★ Lanzado al espacio el 19 de junio de 1999.
- ☾★ Opera en la banda Ku, es decir, con una frecuencia cercana a 14 GHz.

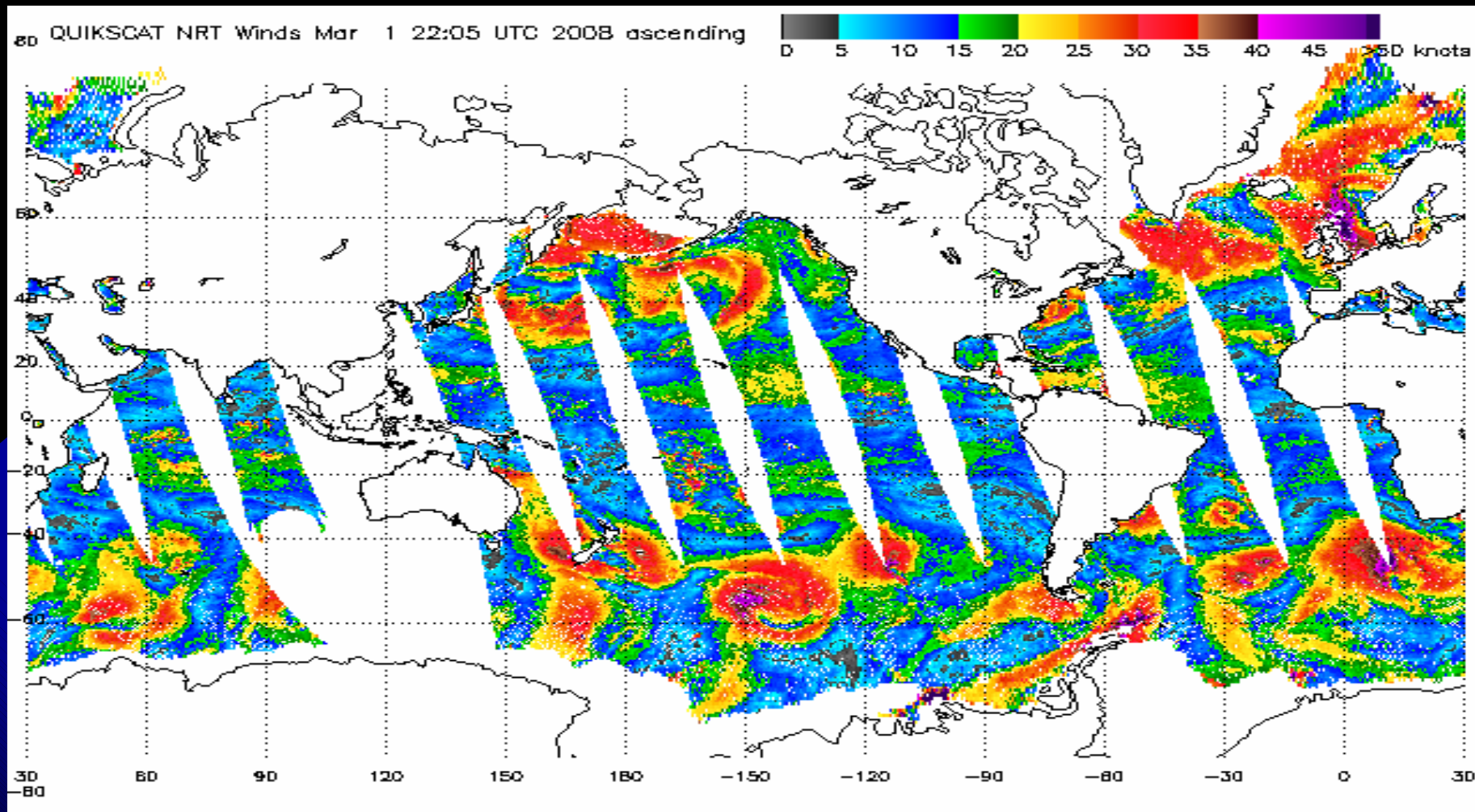
Parámetros orbitales y mediciones



- Órbita de sincronía solar, con una inclinación de 98.6° y localizado a una altura de 803 km.
- Franja de barrido de 1,800 km de ancho, cubriendo aproximadamente el 93% de los océanos en un día con una resolución espacial de 25 km.
- Mediciones de la rapidez del viento en un rango de 3 a 20 m/s, con una precisión de 2 m/s, y de dirección del viento con una precisión de 20° . Los vientos están referenciados a una altura de 10 m.

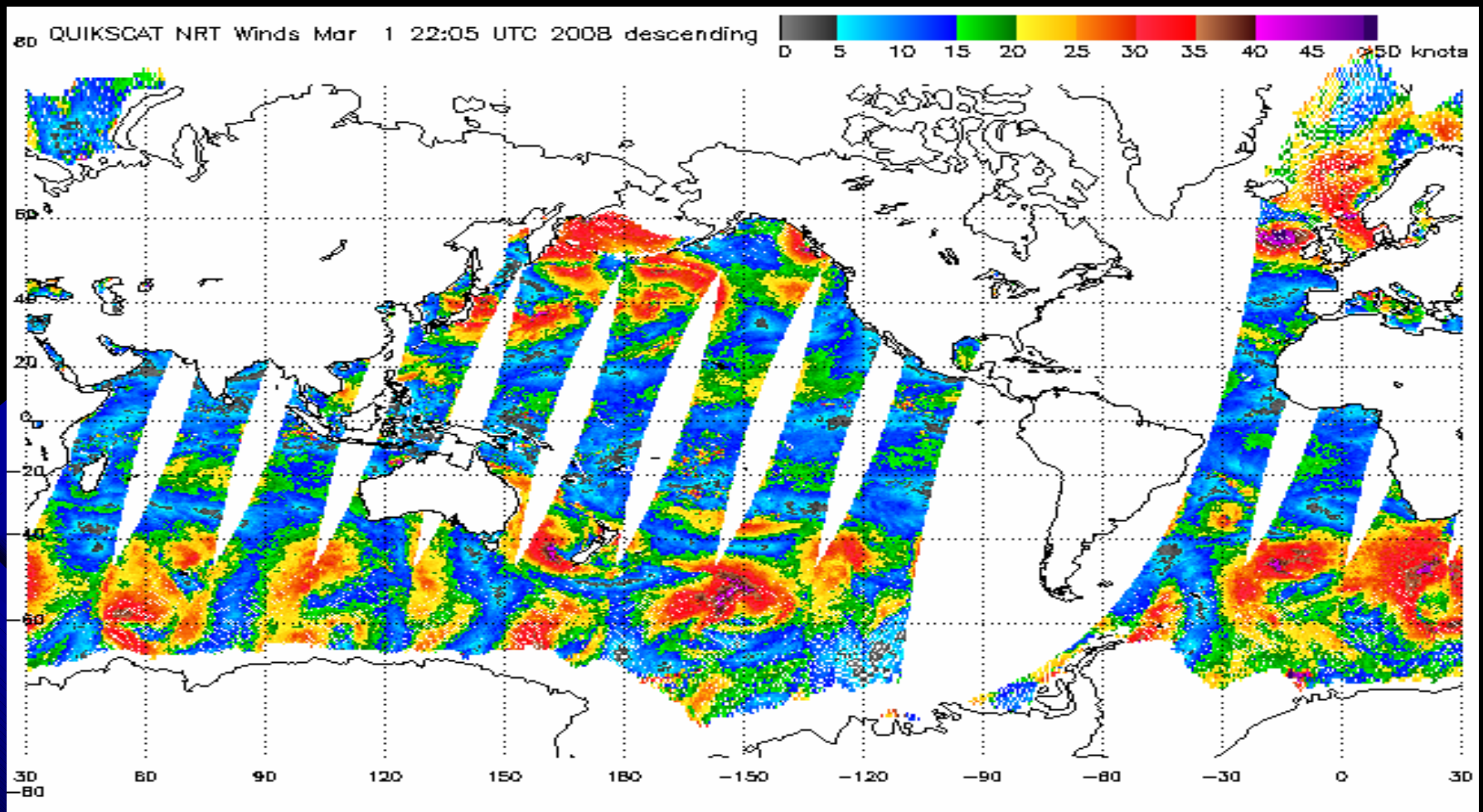
- ☾ La presencia de lluvia puede afectar las mediciones del escaterómetro, generando errores en la dirección de los vectores de viento y/o en la rapidez.
- ☾ El procesamiento de datos del escaterómetro, llevado a cabo por el Remote Sensing System (RSS), usa mediciones simultáneas de radiómetros de microondas para determinar si hay lluvia presente en la ubicación de la observación del escaterómetro y así poder asignar banderas de lluvia.

Paso ascendente del QSCAT



<http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/quikscat/>

Paso descendente del QSCAT



Datos del QSCAT (ejemplo)

- ☾ Datos de los swaths obtenidos de:
<http://www.coaps.fsu.edu/scatterometry/Qscat/swaths.shtml#winds>
- ☾ Archivos con los datos de un día en formato NetCDF con nombre QSCAT.YYYYDDD.nc
- ☾ En Matlab el comando `ncdump('archivo')` proporciona información sobre los datos contenidos en el archivo.