



# ANÁLISIS GEOESPACIAL

Edier V. Aristizábal G.

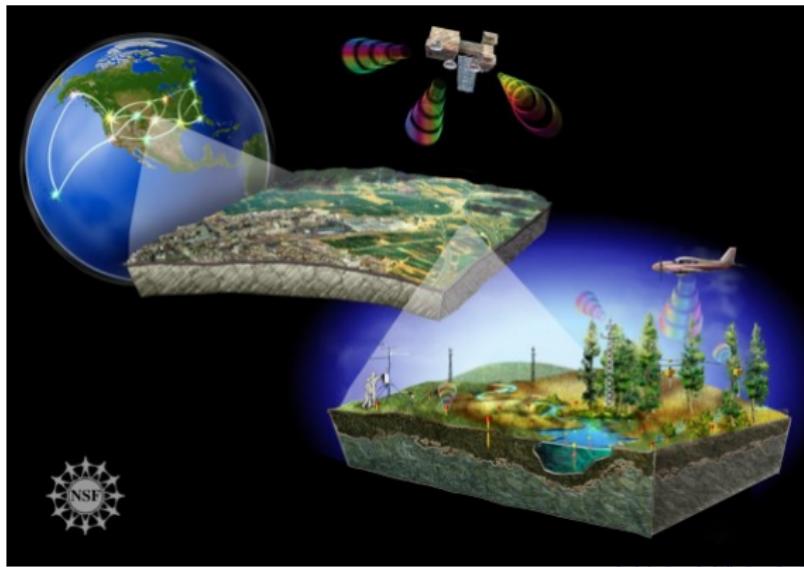
*evaristizabalga@unal.edu.co*

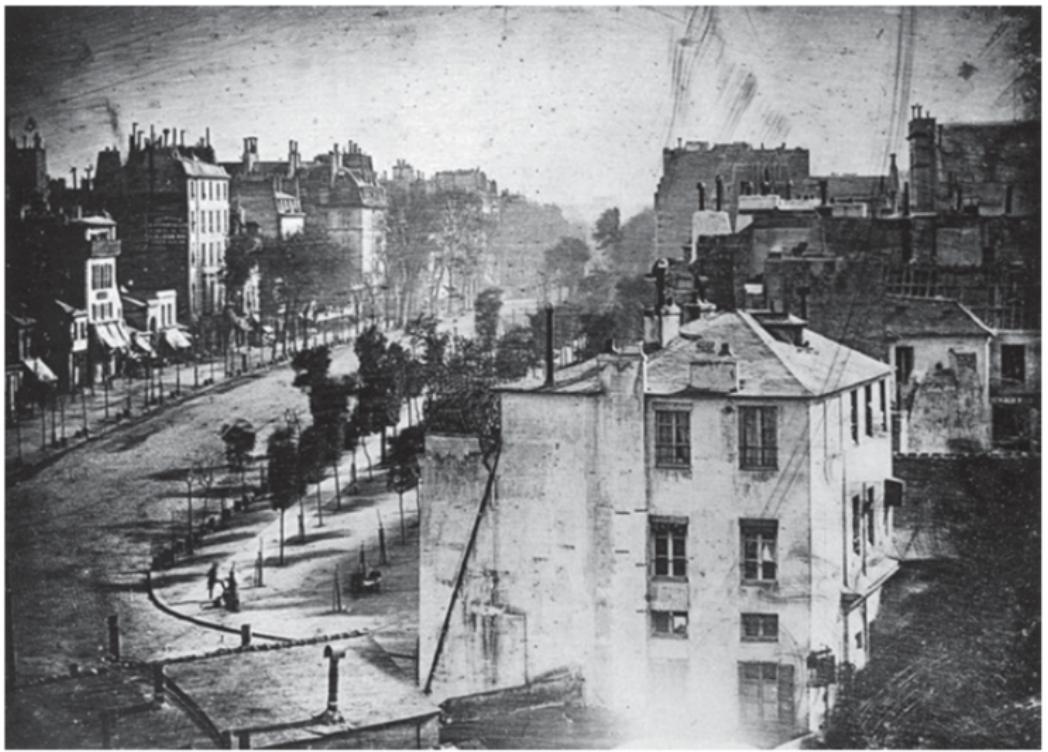
(Versión: June 25, 2020)



# Sensores Remotos

Los *Sensores Remotos* (teledetección) es el **arte, ciencia y tecnología** de observar un **objeto, escena o fenómeno** por técnicas basadas en instrumentos. El término *remoto* se refiere a la observación realizada a una distancia **sin contacto físico** con el objeto de interés. Se puede utilizar herramientas de detección y despliegue en tiempo real o una herramienta que registra la energía, la cual es emitida o reflejada desde el objeto o la escena en observación. La energía puede ser luz u otra forma de **radiaciones electromagnética**, campos de fuerza o energía acústica. Fuente: ITC

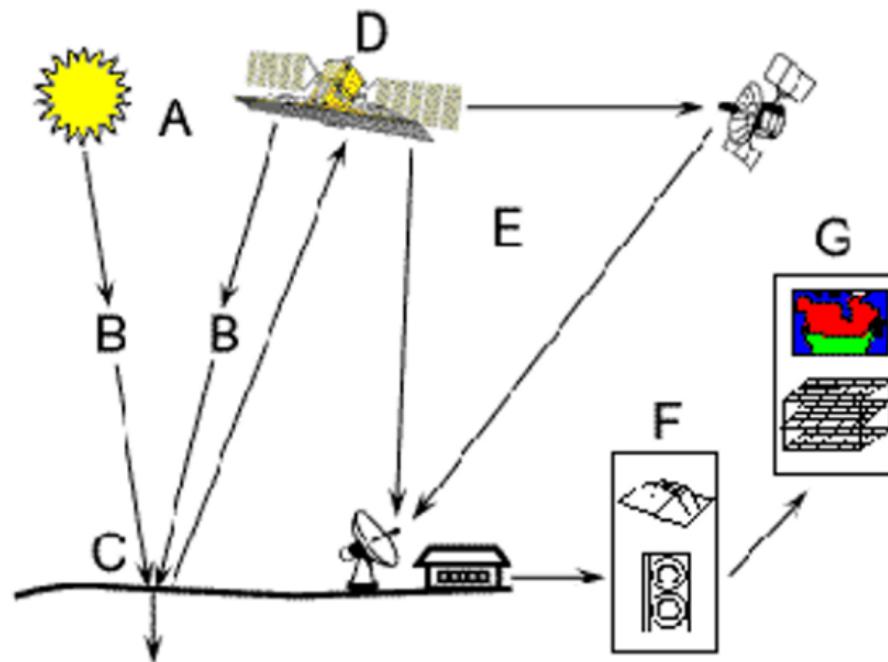








# Sensores Remotos



© CCRS / CCT

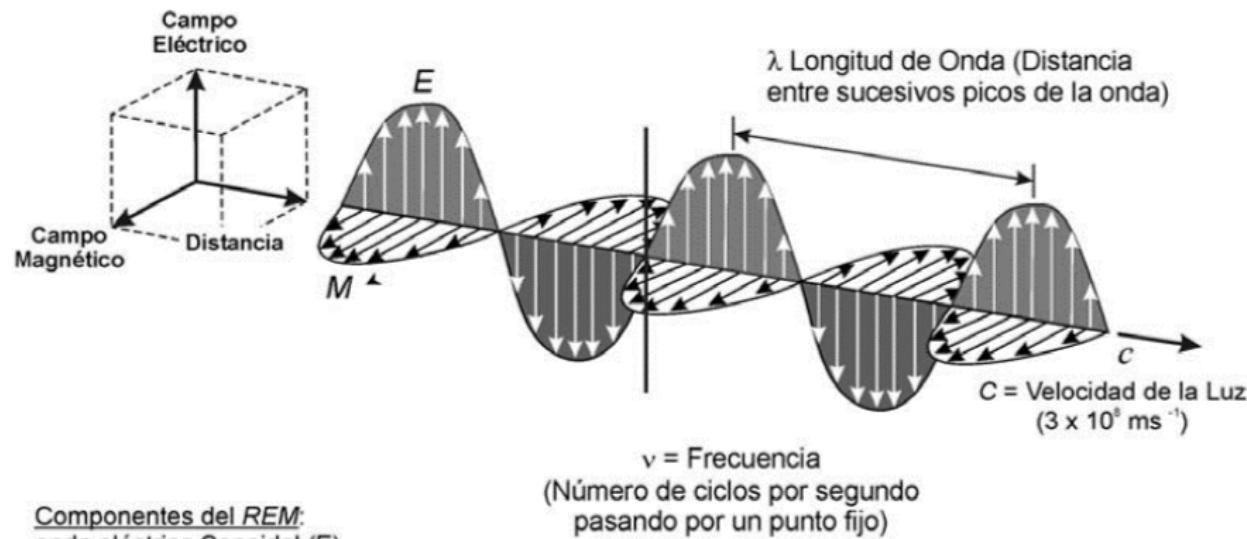
# Transferencia de Energía

Existen tres formas diferentes de transferencia energética en forma de calor:

- **Conducción:** es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica. Se produce por la vibración y choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas.
- **Convección:** mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia, es propia de fluidos (líquidos o gaseosos) en movimiento.
- **Radiación:** es energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada. Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. Esta energía es transportada por ondas electromagnéticas o fotones, por lo que recibe el nombre de radiación electromagnética que se propaga a través del vacío y a la velocidad de la luz.

# Fuente de Energía

## Radiación Electromagnética



### Componentes del REM:

onda eléctrica Senoidal (E)

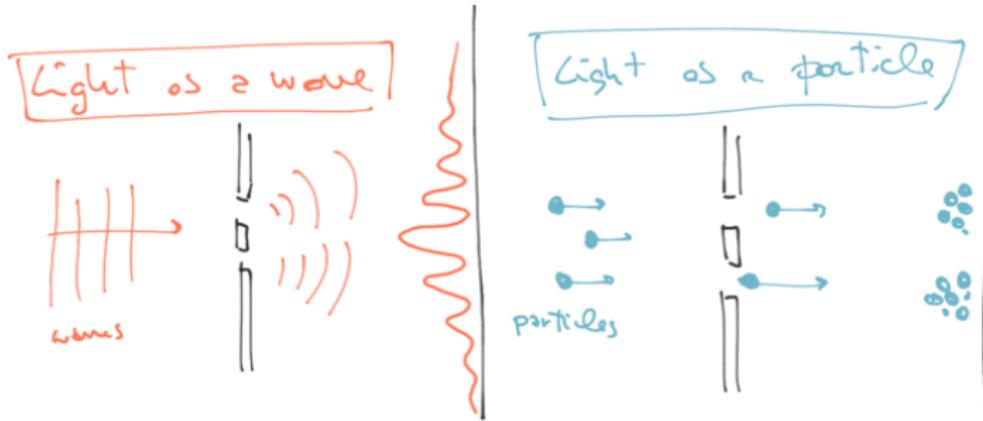
onda magnética senoidal (M) - ortogonal a (E)

(E) y (M) son perpendiculares a la dirección de propagación

$$C = v\lambda$$

# Wave-Particle Duality

Young's experiment



$$E = h \cdot f \quad \text{where} \quad E = \text{photon energy (Joules)}$$

OR

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

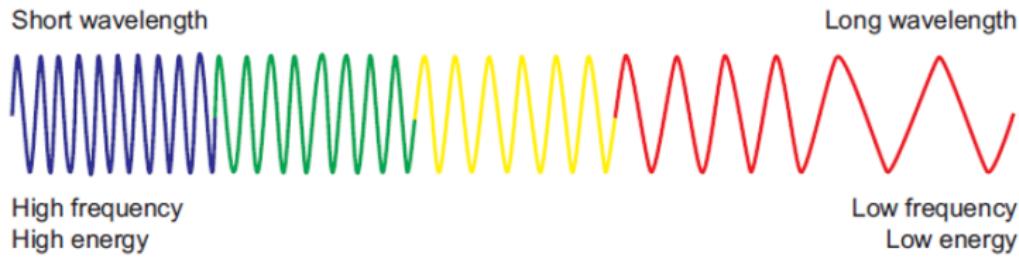
$f$  = frequency (Hz)

$h$  = Planck's constant ( $6.63 \times 10^{-34}$  J.s)

$c$  = velocity of light ( $3.00 \times 10^8$  m/s)

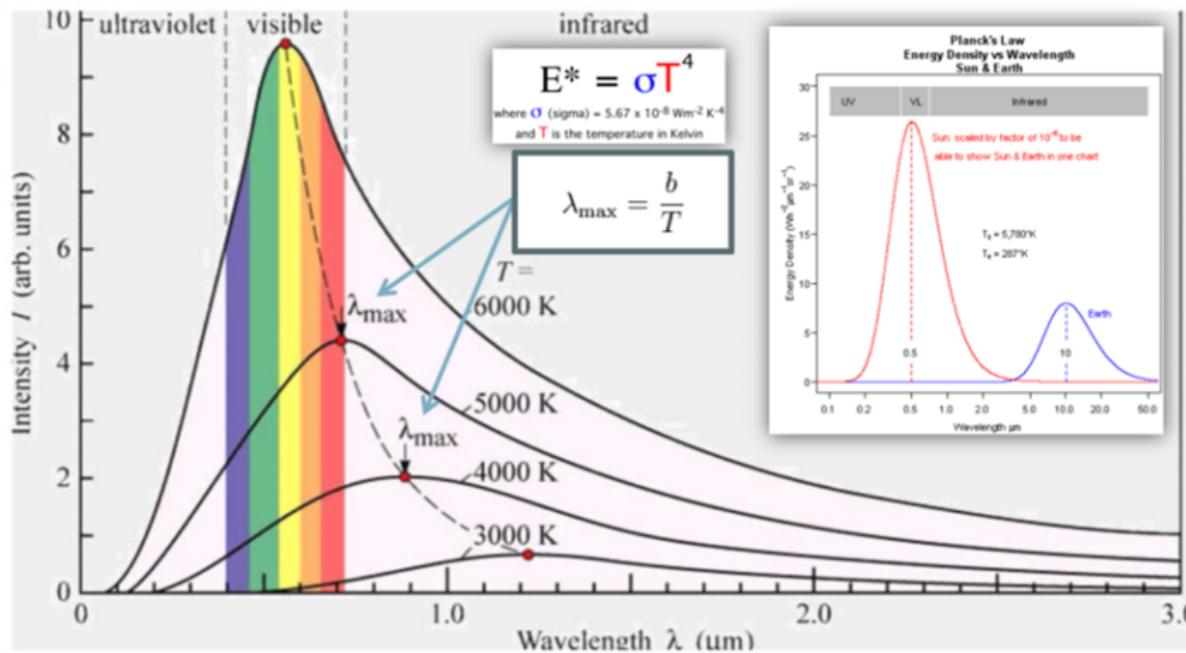
$\lambda$  = wavelength (m)

# Espectro electromagnético

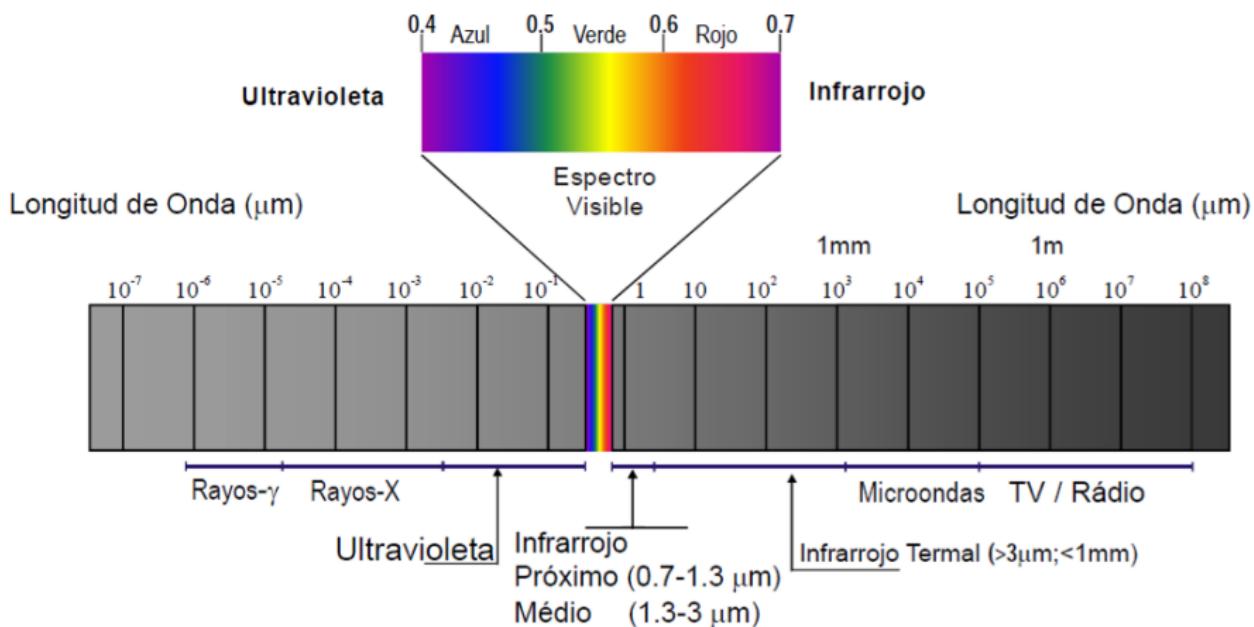


# Fuente de Energía

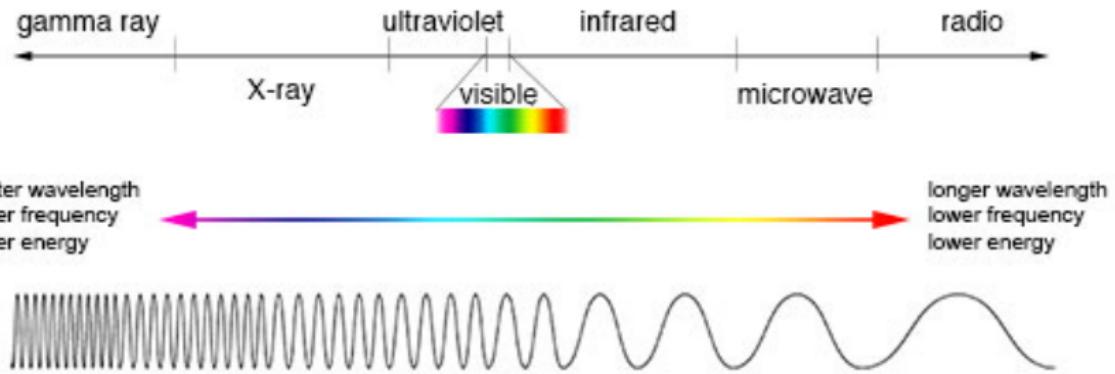
Ley de Stefan-Boltzmann & Ley de Wien



# Espectro Electromagnético

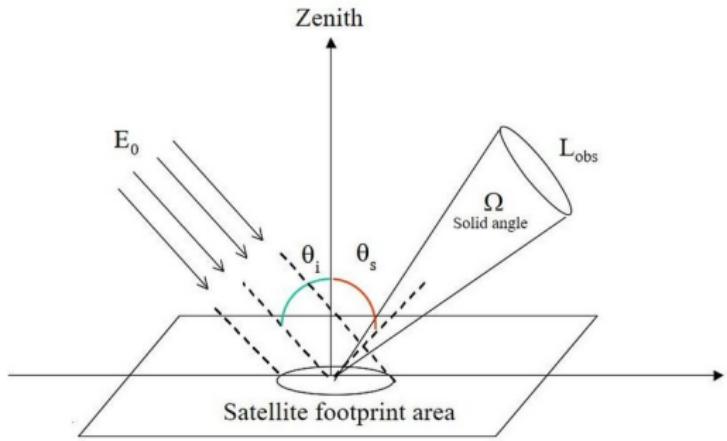


# Espectro Electromagnético

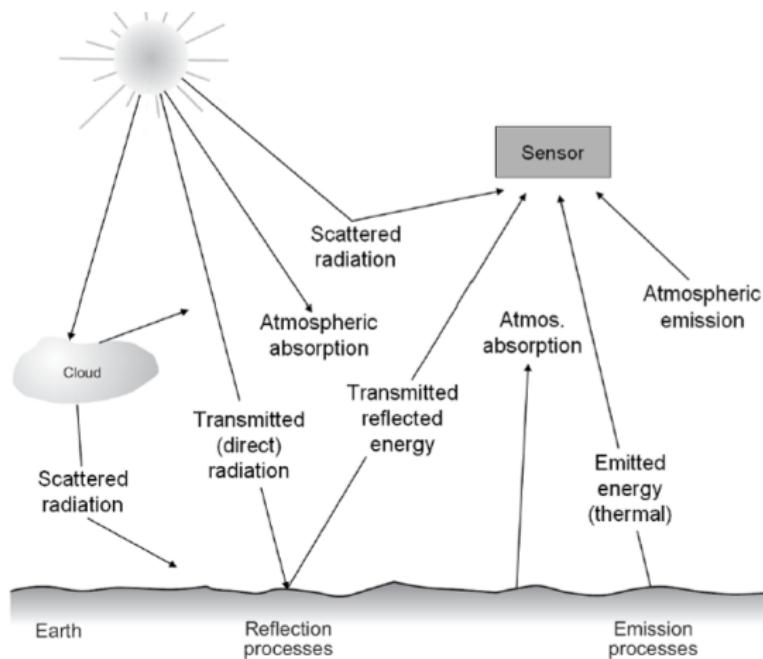


Credit: NASA's Imagine the Universe

- **Energía radiante:** total de energía radiada en todas las direcciones (J).
- **Flujo radiante:** energía radiada en todas las direcciones por unidad de tiempo (W).
- **Irradiancia:** flujo radiante incidente sobre unidad de área ( $\frac{W}{m^2}$ ).
- **Radiancia:** flujo radiante emitido o reflejado por unidad de área y por ángulo sólido de medida( $\frac{W \cdot Sr}{m^2}$ ).
- **Emisividad:** relación entre la emitancia y la de un emisor perfecto.
- **Reflectividad:** relación entre el flujo incidente y el flujo reflejado por una superficie.
- **Absortividad:** relación entre el flujo incidente y el flujo que absorbe una superficie.
- **Trasmisividad:** relación entre el flujo incidente y el transmitido por una superficie.



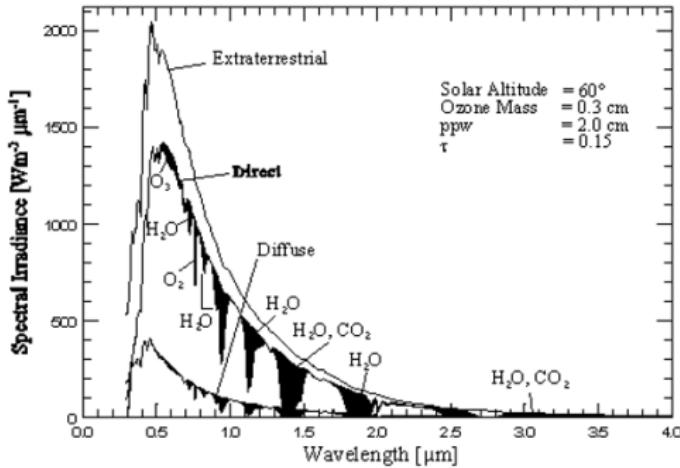
# Interacción con la atmósfera



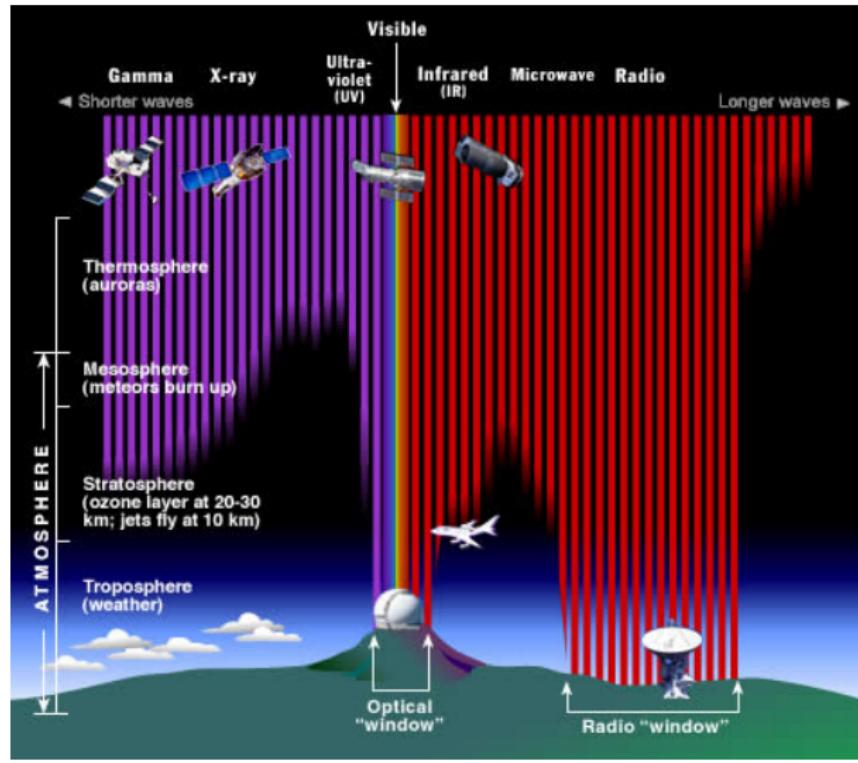
# Atenuación

**Atenuación geométrica:** Atenuación de la radiación con la distancia recorrida desde la fuente hasta el receptor. La intensidad de la onda decrece usualmente con el cuadrado de la distancia al foco emisor.

**Atenuación atmosférica:** Atenuación por absorción de las moléculas atmosféricas. La intensidad de la onda disminuye exponencialmente con la distancia  $r$  del medio absorbente atravesado.

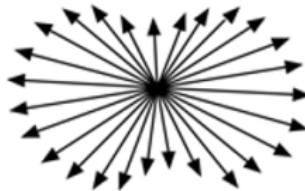


# Ventanas Atmosféricas

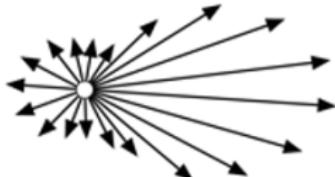


# Dispersión

Rayleigh Scattering

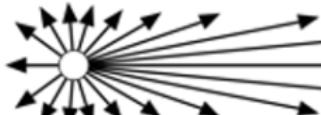


Mie Scattering



→ Direction of incident light

Mie Scattering,  
larger particles

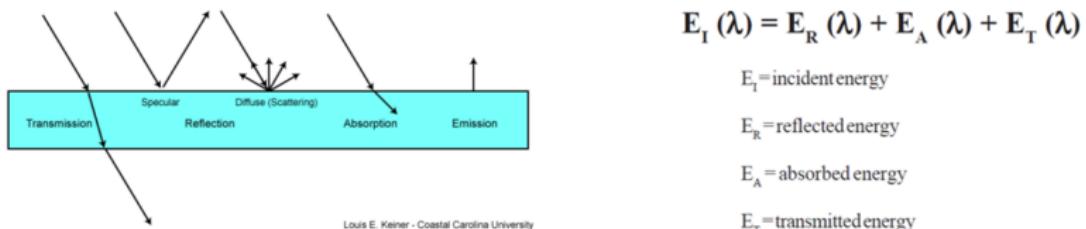
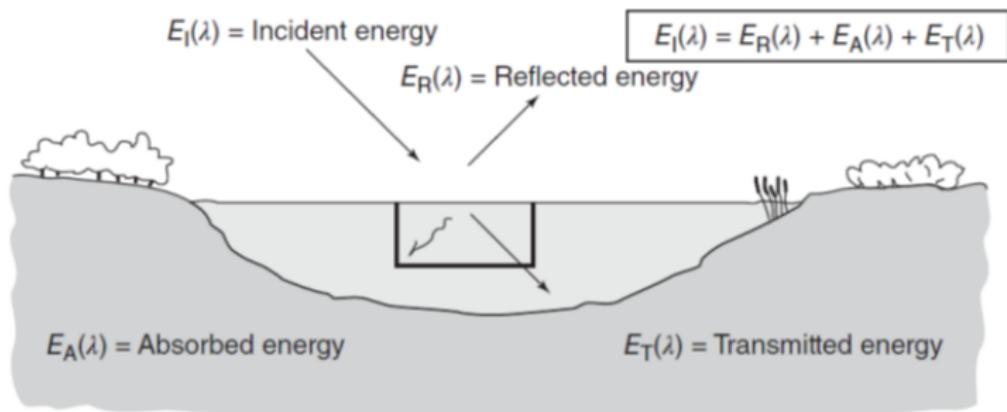


**Rayleigh:** Dispersión dominante en la atmósfera. Diámetro de las partículas es inferior a la longitud de onda. Longitudes de ondas menores (azul) es mas disperso que longitudes de onda mayores (rojo). El efecto Rayleigh es inversamente proporcional a la longitud de onda a la 4. Se utilizan filtros que eliminan longitudes de onda corta.  
(moléculas atmosféricas: O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etc).

**Mie:** Longitudes de onda similares al diámetro de las partículas, característico en la parte baja de la atmósfera. Mayor efecto en longitudes de onda mas grandes comparado con efecto Rayleigh. (Polvo, Vapor de agua).

**No selectiva.** Diámetro (5 a 100 um) de las partículas es mucho mayor a las longitudes de onda, por lo que dispersa todo el espectro del visible y hasta el infrarrojo medio.  
(Aerosoles, gotas de lluvia).

# Interacción con el objeto

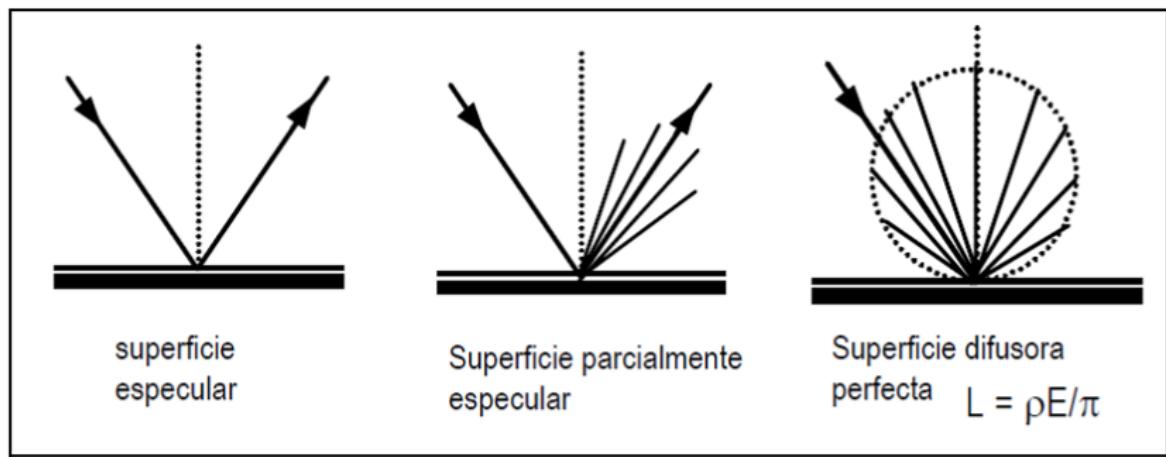


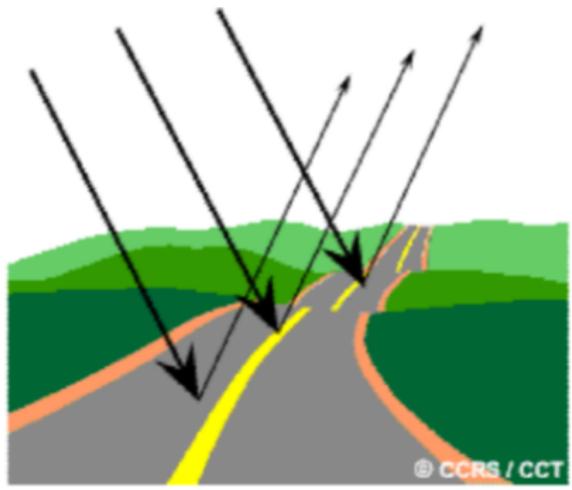
Louis E. Keiner - Coastal Carolina University

Se pueden distinguir dos tipos de superficies:

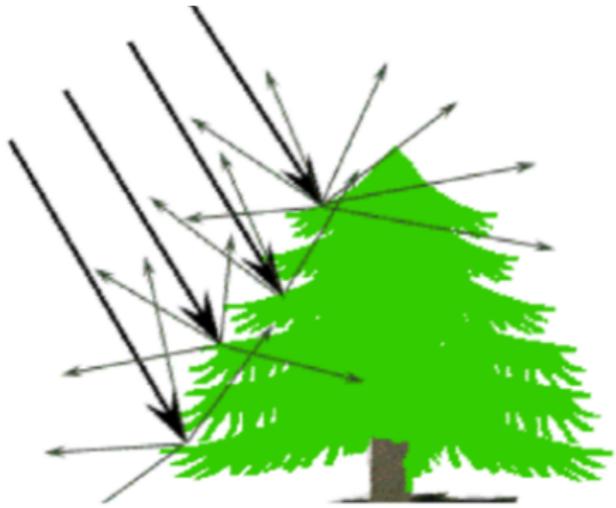
**Especulares.** Aquellas que reflejan la energía con el mismo ángulo del flujo incidente.

**Lambertianas-difusa.** Aquellas que reflejan el flujo incidente uniformemente en todas las direcciones. En Sensores Remotos generalmente es de mayor interés medir las propiedades de reflectancia difusa del terreno y objetos.





© CCRS / CCT





**Figure 1.16** Aerial photograph containing areas of specular reflection from water bodies. This image is a portion of a summertime photograph taken over Green Lake, Green Lake County, WI. Scale 1:95,000. Cloud shadows indicate direction of sunlight at time of exposure. Reproduced from color IR original. (NASA image.)

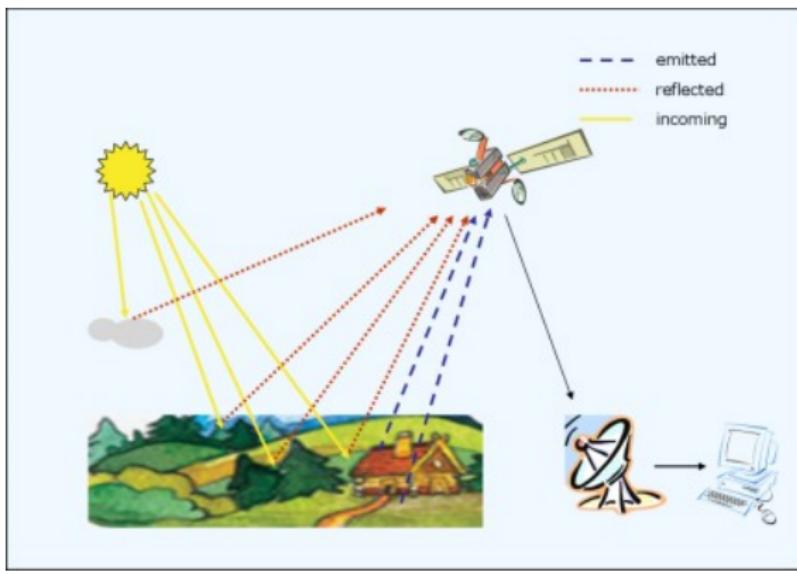
# Características de las coberturas

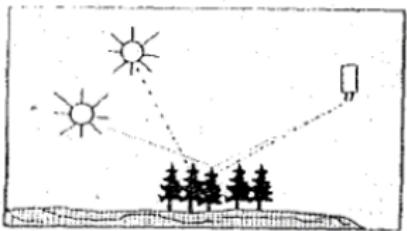
La forma de reflejar la energía en las distintas longitudes de onda no es único y homogéneo, sino que varía sustancialmente en función de los siguientes factores:

**Físicos:** temperatura, humedad y textura.

**Químicos:** composición, contenido de materia orgánica, etc.

**Ambientales:** pendiente, orientación, estación del año, hora, etc.

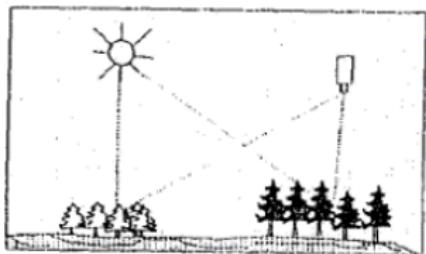




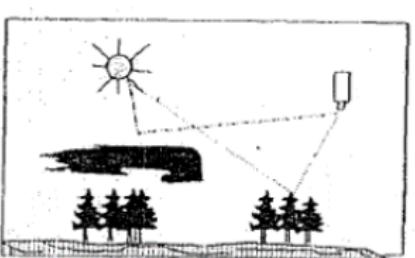
(a) Angulo de iluminación solar



(b) Pendiente y orientación de las laderas



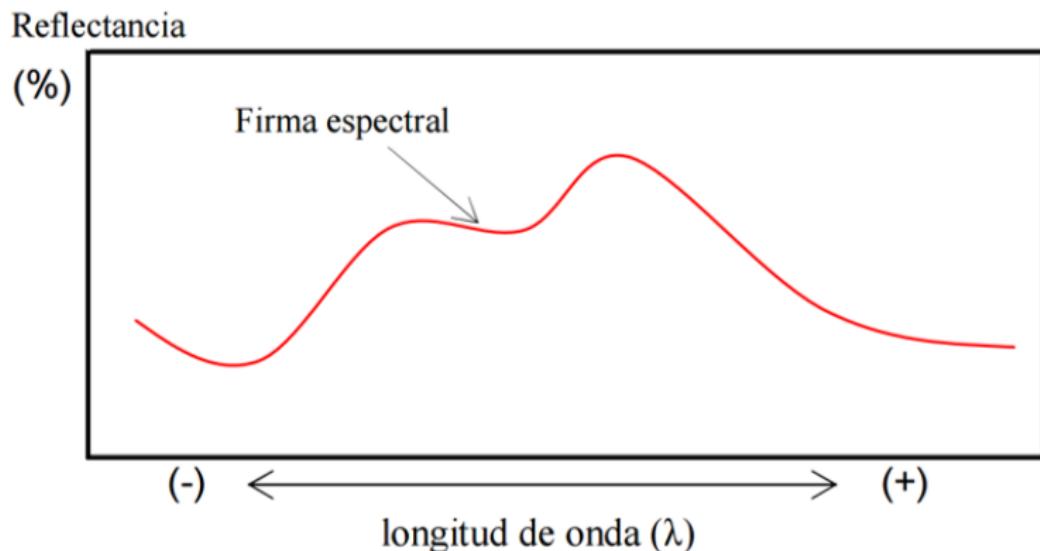
(c) Condiciones ambientales

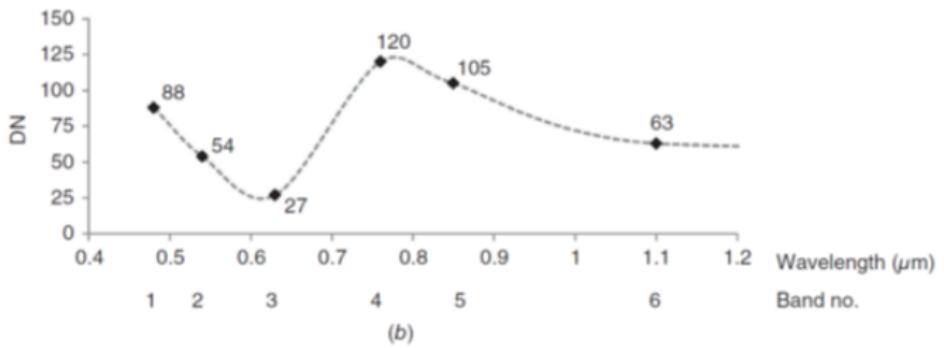
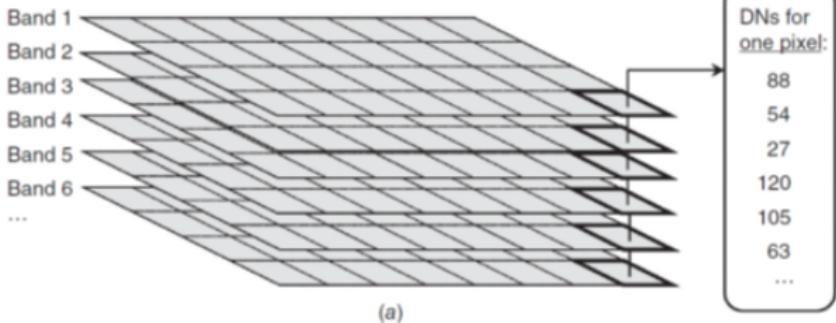


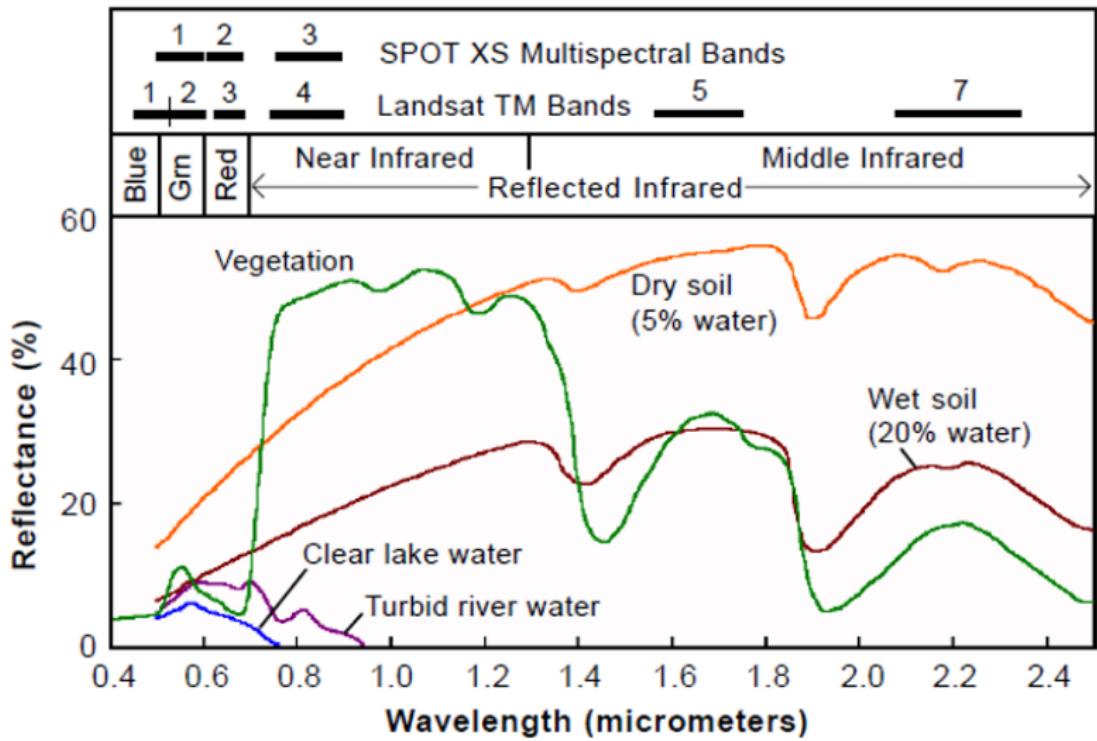
(d) Condiciones atmosféricas

# Firma Espectral

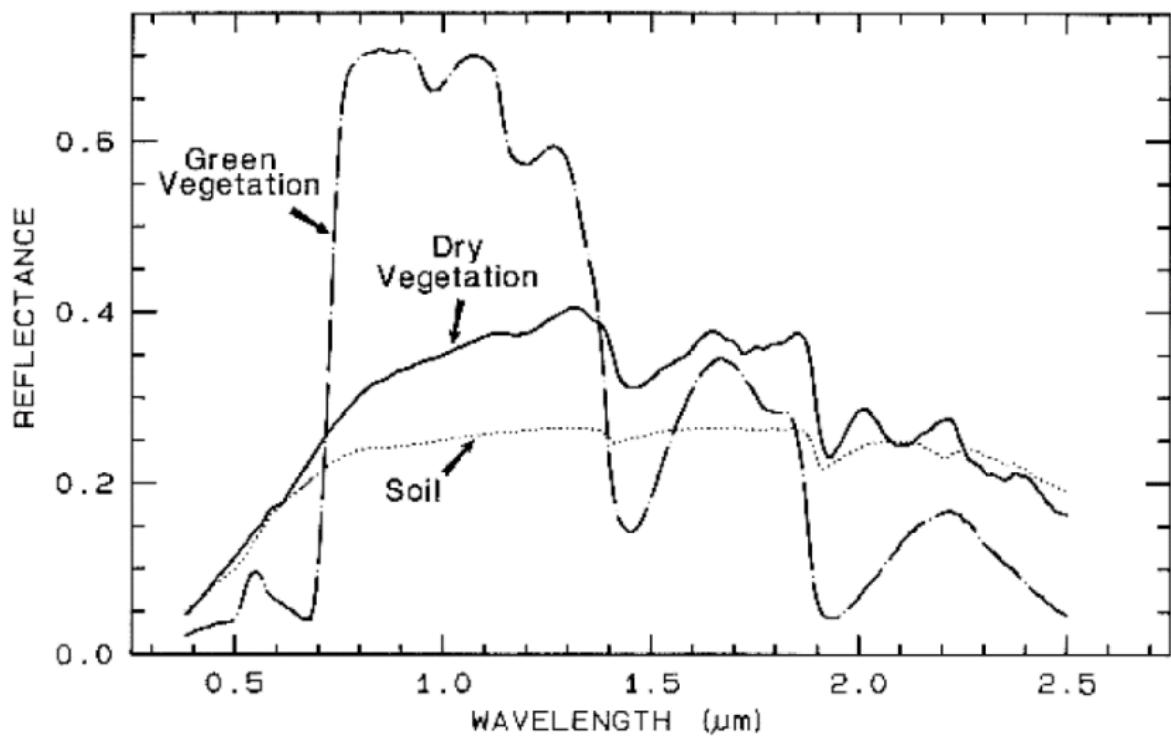
La firma espectral se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético. Una forma gráfica de estudiar este comportamiento es disponer los datos de reflectancia (%) en el eje Y y la longitud de onda  $\lambda$  en el eje X. Al unir los puntos con una línea continua se origina una representación bidimensional de la firma espectral



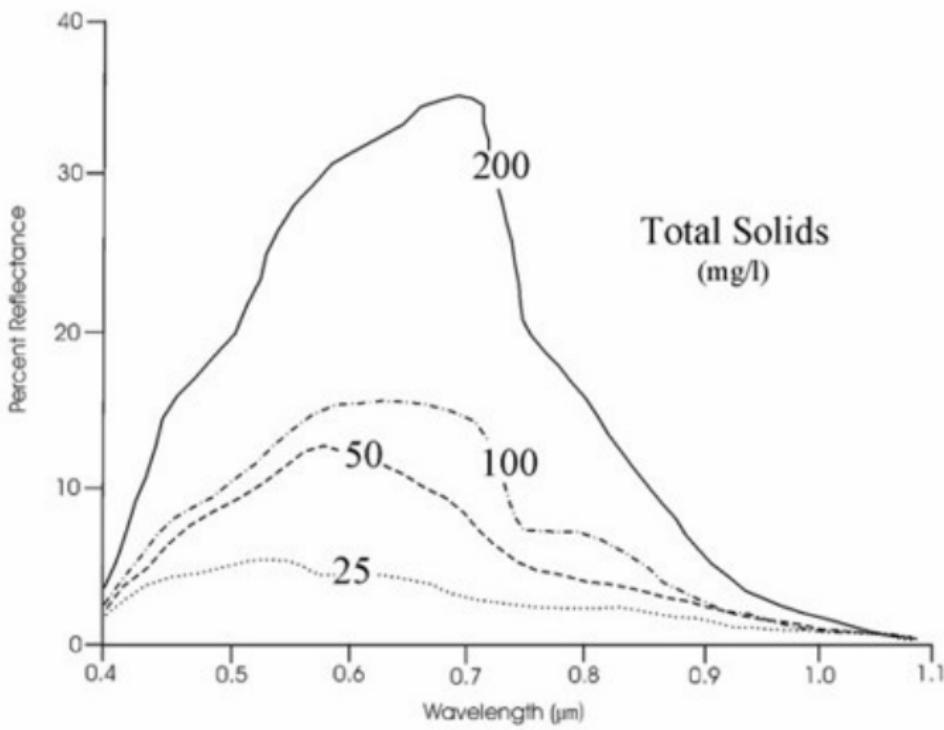




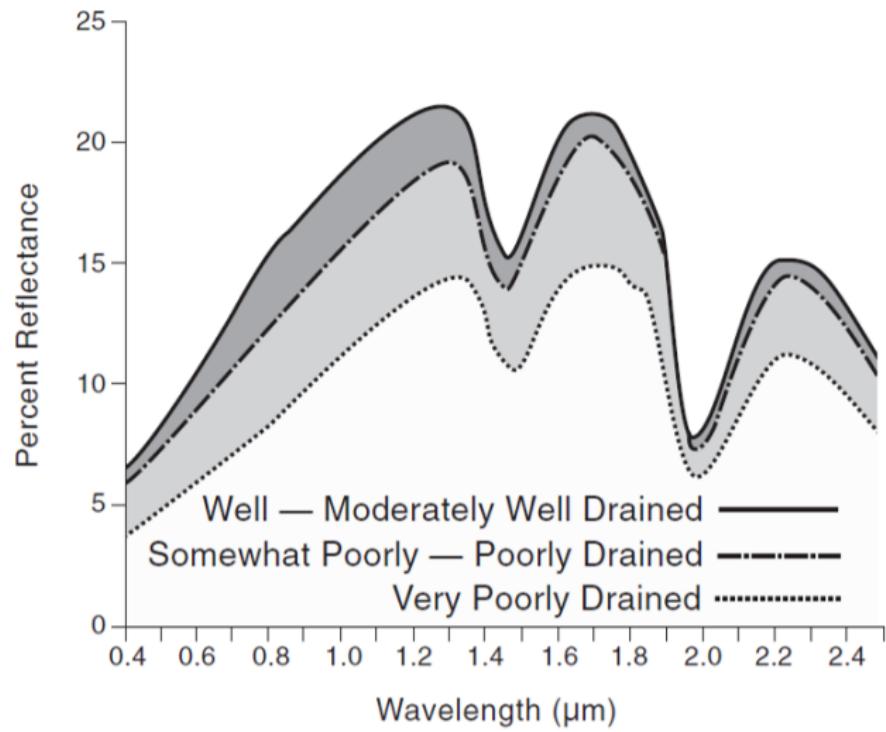
# Vegetación



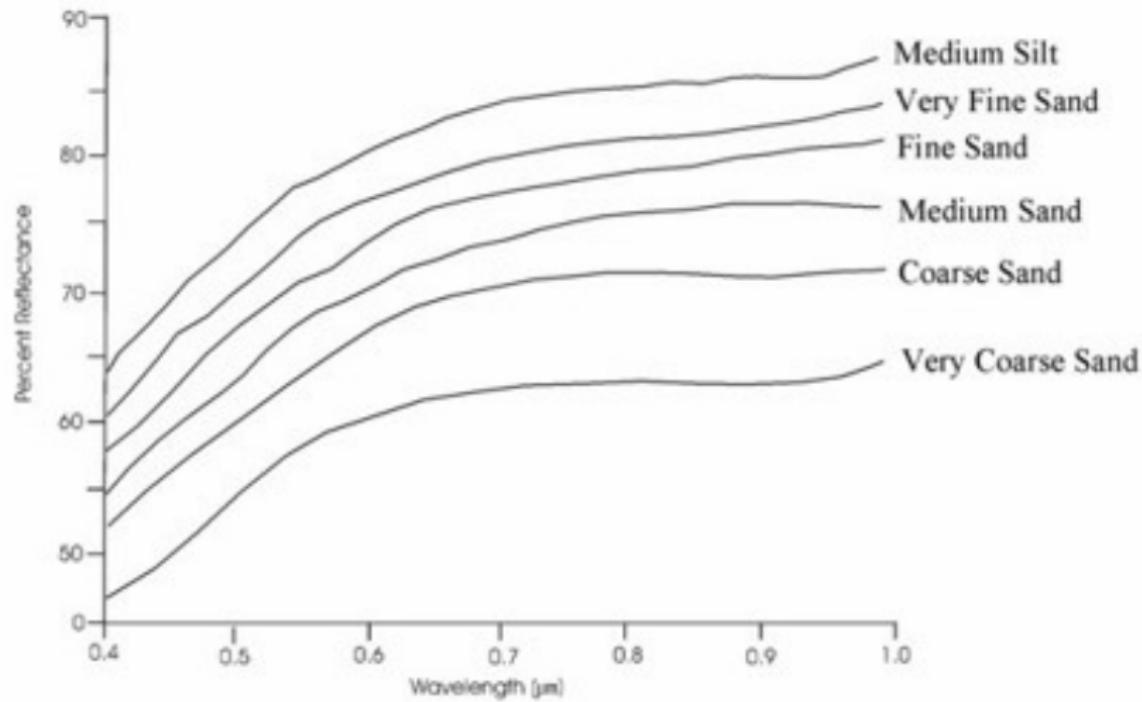
# Agua & Sedimentos



# Suelo & Humedad



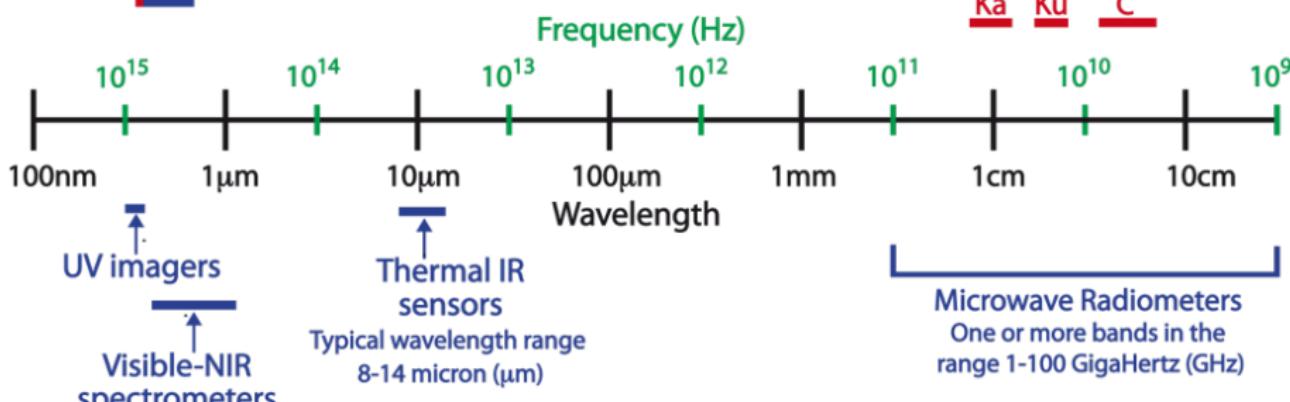
# Suelo & Granulometría



# Sensores

## ACTIVE SENSORS

Laser Fluorosensors  
Typical excitation wavelength 355nm  
Emission measurements: 430-750nm



## PASSIVE SENSORS

Typical wavelength range  
400-1100 nanometers (nm)

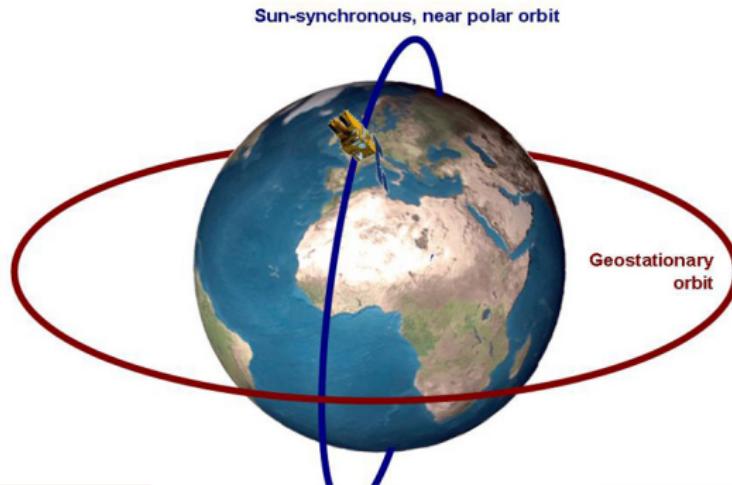
# Orbitas

**Altitud:** distancia desde el satélite a la superficie de la tierra. A mayor altitud menor resolución espacial.

**Angulo de inclinación:** ángulo entre el plano de la orbita y el plano ecuatorial. Determina la porción de tierra que observa.

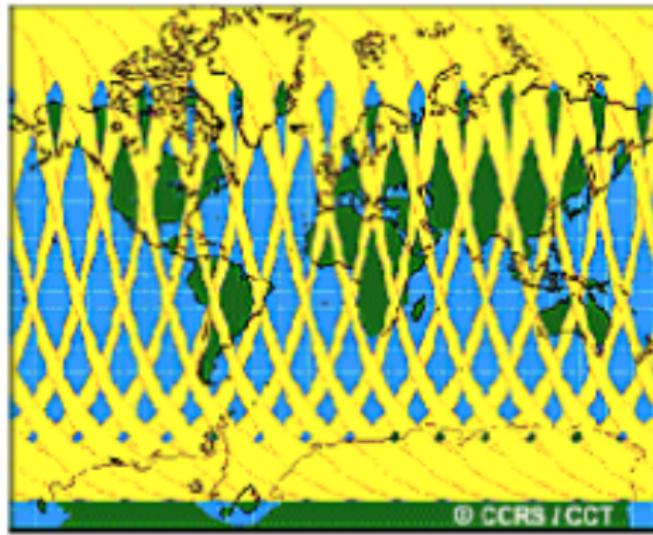
**Periodo:** es el tiempo que requiere para completar una orbita. La velocidad afecta la resolución, si aumenta al velocidad se reduce la exposición y se requiere alta intensidad de radiación.

**Ciclo repetido:** es el tiempo entre dos sucesivas orbitas idénticas.



# Swaths

**Swath:** El área que cubre el sensor de cierta porción de la tierra. Puede variar de diez a cientos de kilómetros de ancho. Debido a la rotación de la tierra le permite al satélite cubrir una nueva área en cada paso consecutivo.



# Landsat 8

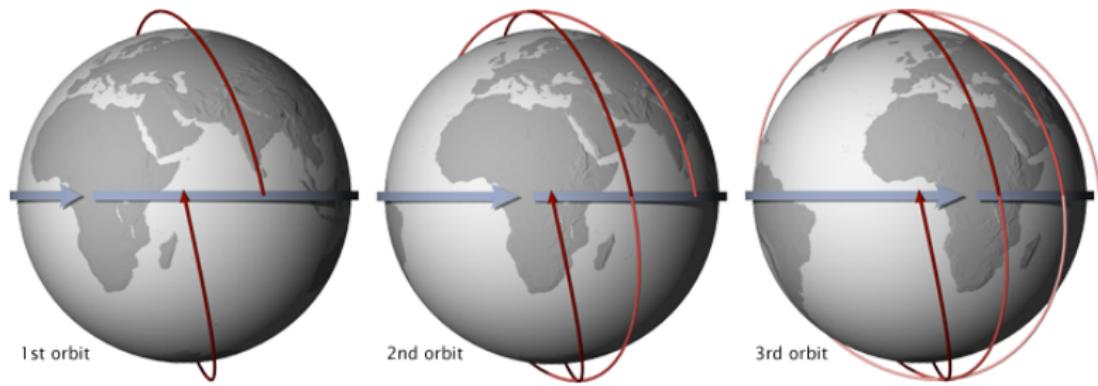


Figure 5.14 Timing of adjacent Landsat-8 coverage tracks. Adjacent swaths are imaged seven days apart. (Adapted from NASA diagram.)

# Polares & Heliosincrónicas

**Orbitas polares:** pasan por los polos de la tierra, con inclinación entre 80 y 100 °. Cubrimiento del planeta, mayor escala espacial (m).

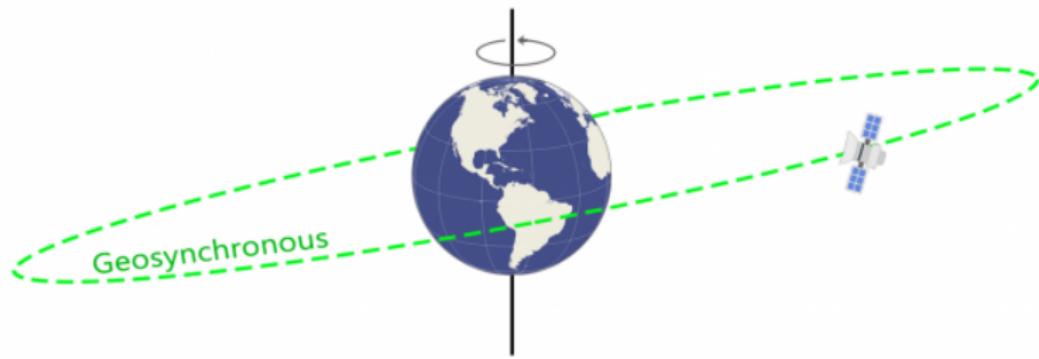
**Sincrónica al Sol (heliosincrónica):** orbita en la cual el satélite siempre pasa un área en el mismo tiempo, y permite tomas imágenes de noche en la fase ascendente (termal o radar). LANDSAT, SPOT e IRIS.



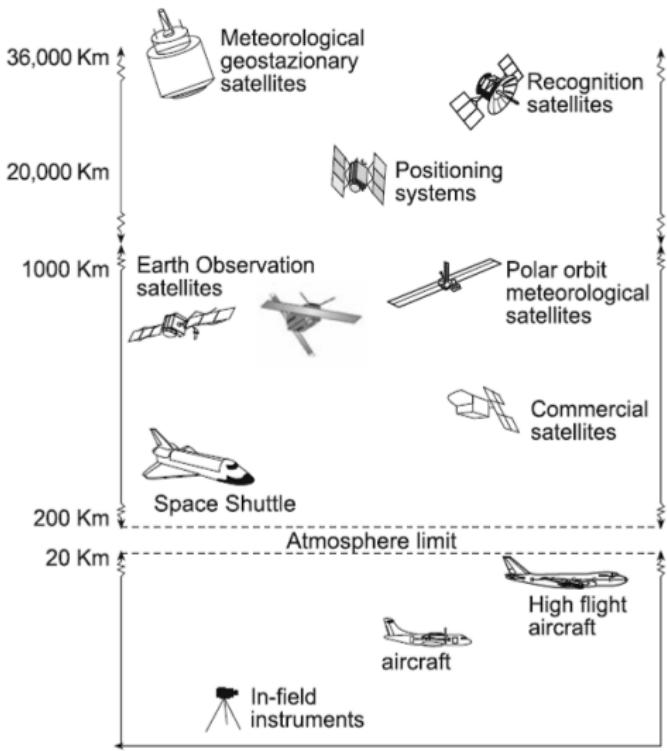
# Geosincrónica & Geoestacionaria

**Orbitas ecuatoriales:** donde el satélite está localizado sobre el ecuador, ángulo de inclinación 0° y a 36k km.

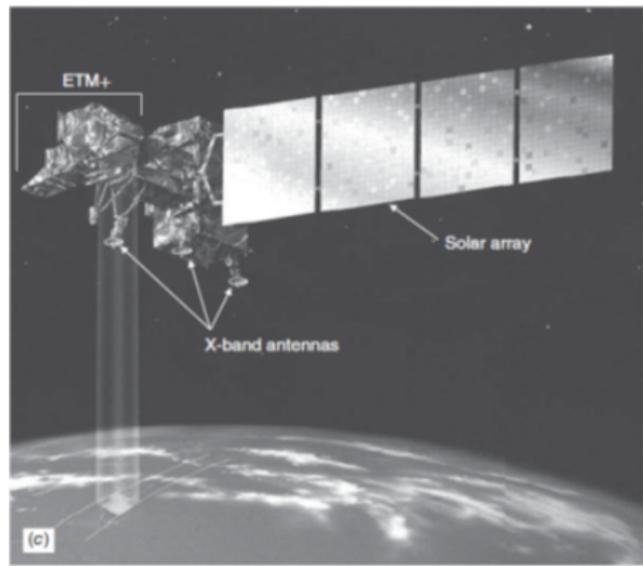
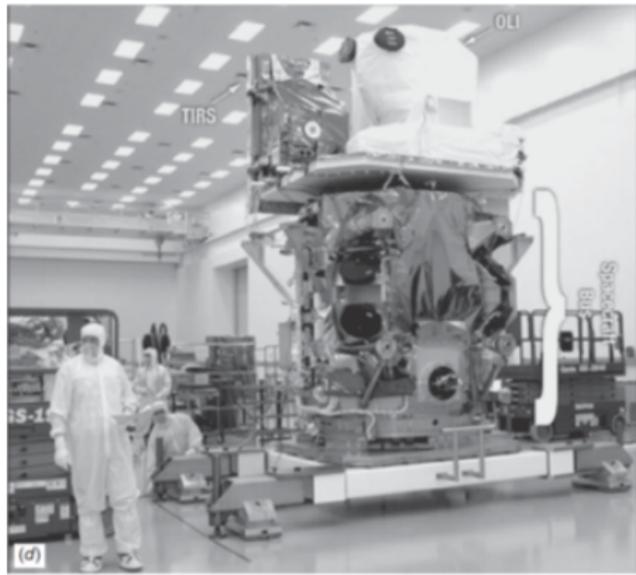
**Geoestacionarias:** el satélite está en una posición relativa fija sobre la tierra. Menor escala espacial (Km) pero mayor resolución temporal.



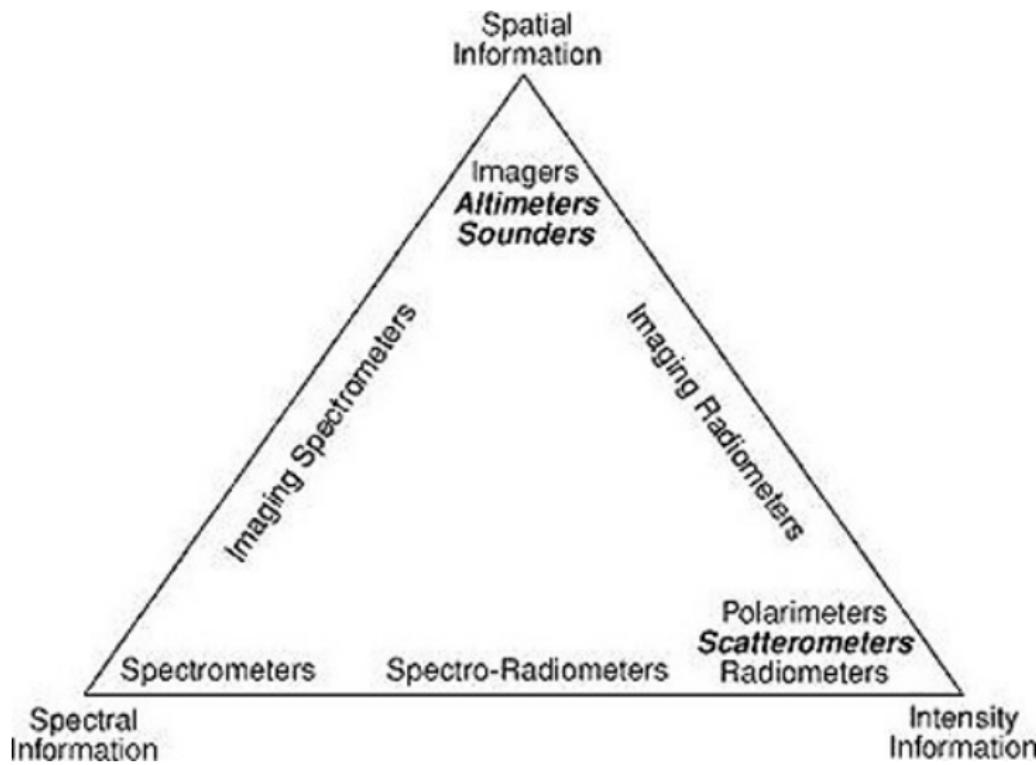
# Plataformas



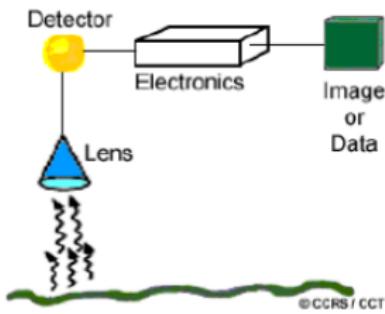
# Satélite Bus



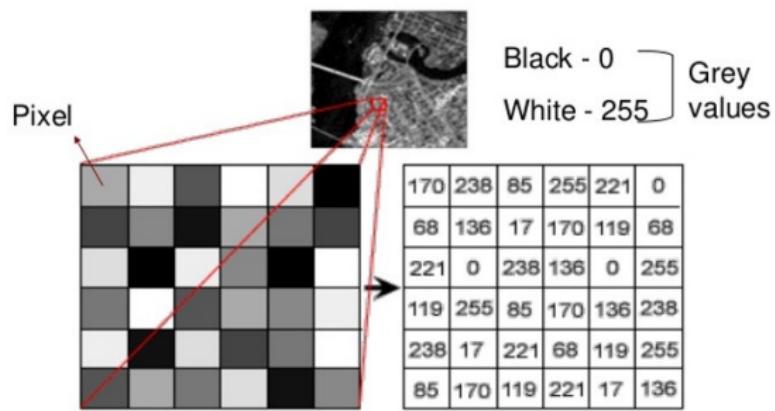
# Sensores



# Detectores

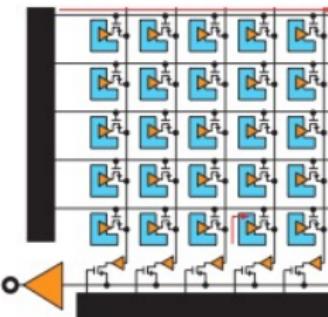
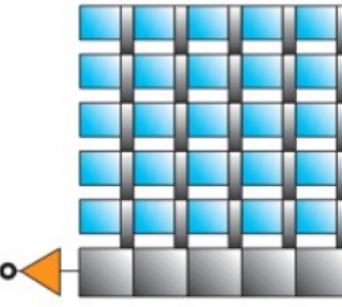


## PIXELS (Picture + elements)



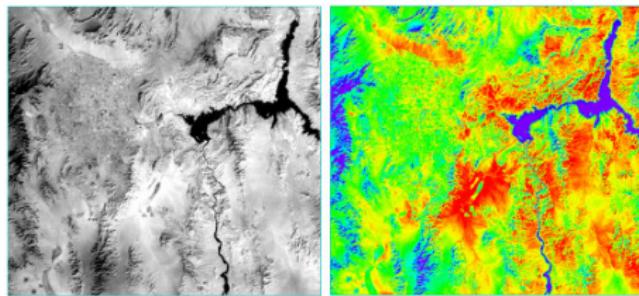
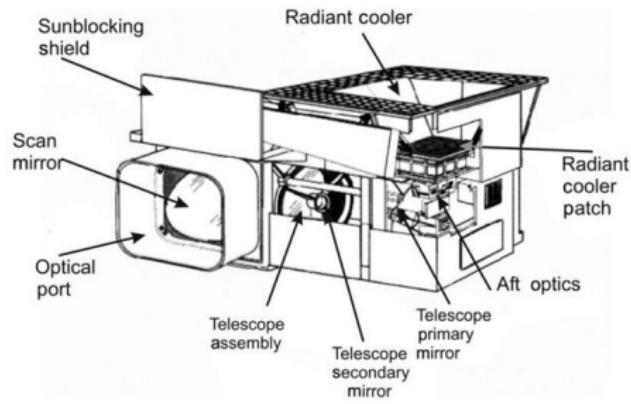
# Detectores Cuánticos

Los detectores son definidos como instrumentos que reciben un flujo de energía y proporcionan una señal. Existen dos tipos fundamentales de detectores de luz que operan con mecanismos de transducción diferentes.

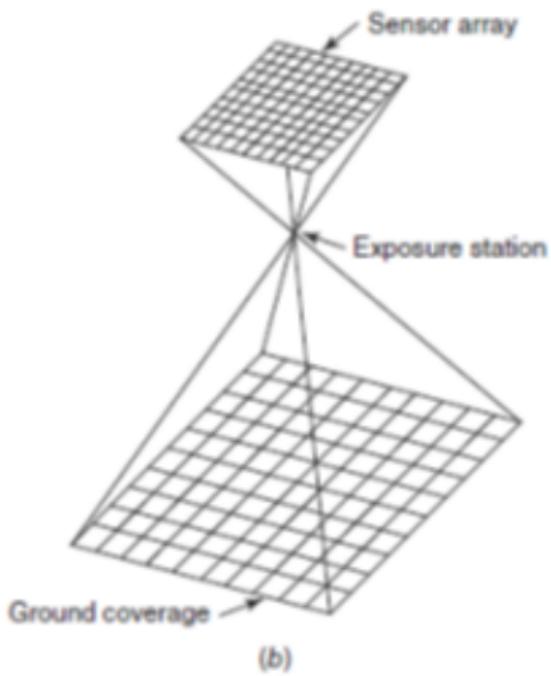
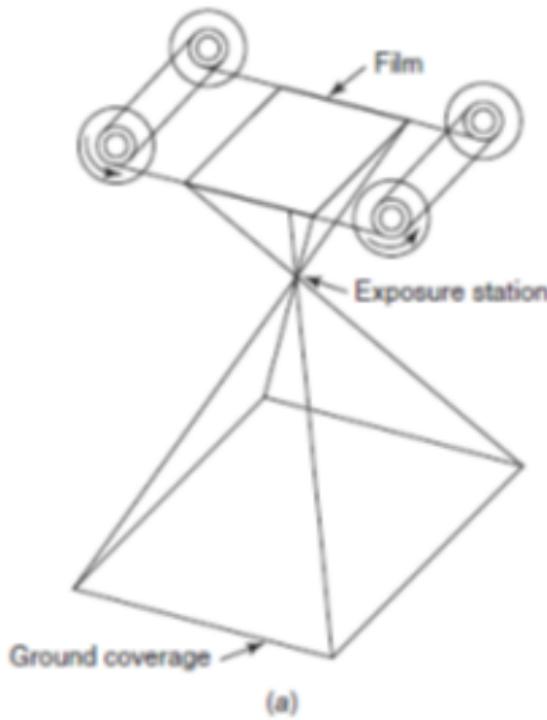
Diseño	CMOS Xensium-FT	TI CCD
<b>CMOS – Grass Valley:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Baja velocidad de reloj interna</li><li>• Direcciónamiento directo de los pixeles</li><li>• Sin desborde</li><li>• Sin retrasos</li><li>• Convertidores múltiples A/D, circuitos de temporizador y lectura integrados en el chip</li></ul>		
<b>TI CCD:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Alta velocidad de reloj interna</li><li>• Temperatura más alta, más ruido</li><li>• "Smear" vertical debido a la columna de transporte en la sección de la imagen</li><li>• Convertidor A/D externo</li><li>• Controlador externo y circuitos de reloj</li></ul>	<p><b>CMOS Xensium-FT:</b> La carga de cada pixel es muestreada individualmente en cada pixel y convertida a un voltaje. Los voltajes de cada pixel son direccionados a través de una matriz y enviados a la salida. Este proceso no necesita mucha energía. Bajo consumo de energía. Bajo calentamiento.</p>	<p><b>CCD:</b> La carga de cada pixel individual se mueve a través del CCD para una sola muestra y se mantiene, donde es convertida de una carga a un voltaje. Este proceso necesita una gran cantidad de energía y produce mucho calentamiento.</p>

# Detectores Térmicos

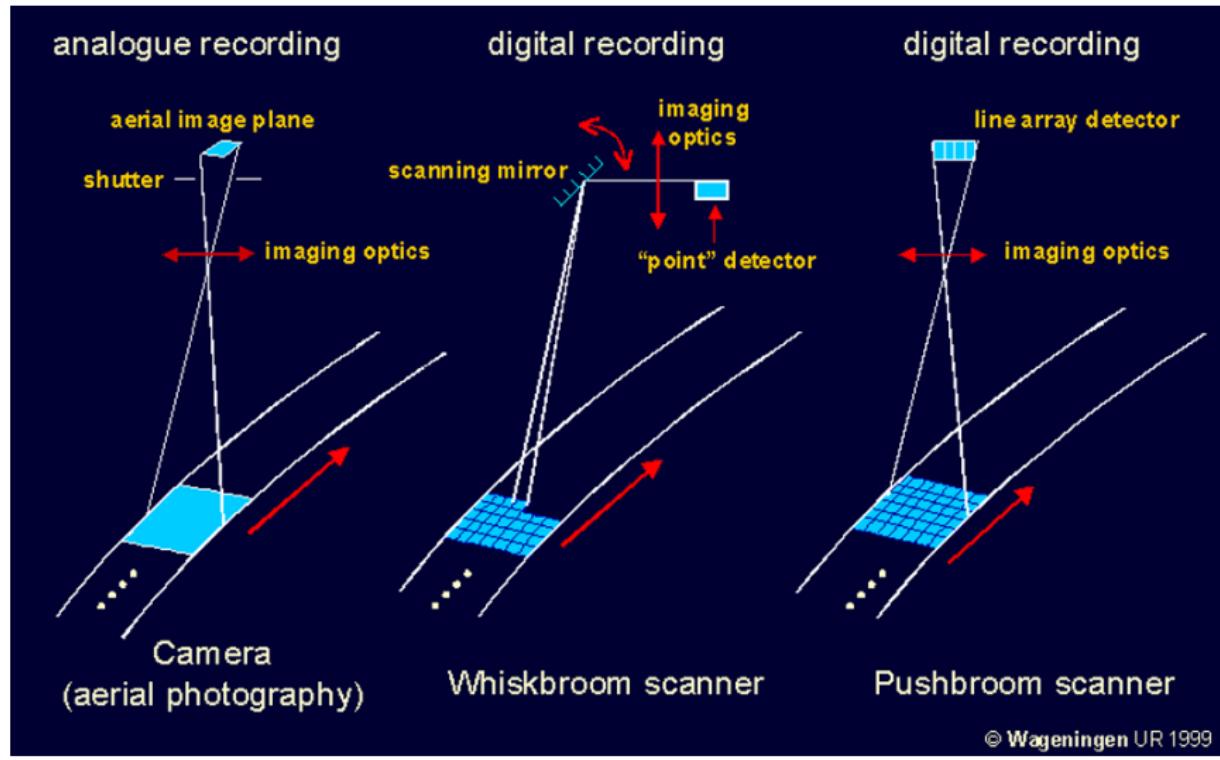
Los detectores son definidos como instrumentos que reciben un flujo de energía y proporcionan una señal. Existen dos tipos fundamentales de detectores de luz que operan con mecanismos de transducción diferentes.



# Análoga vs Scanning

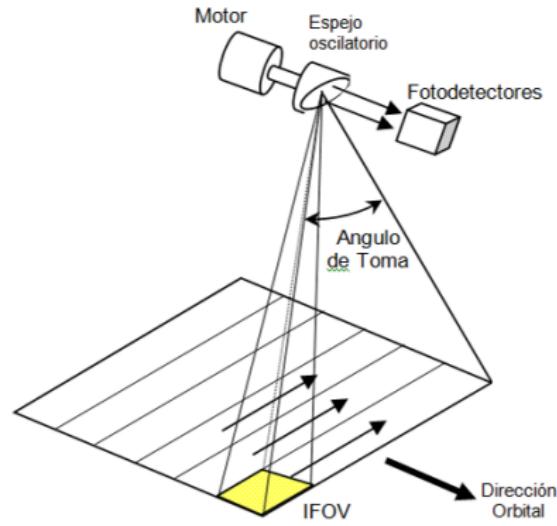


# Frame vs Scanning

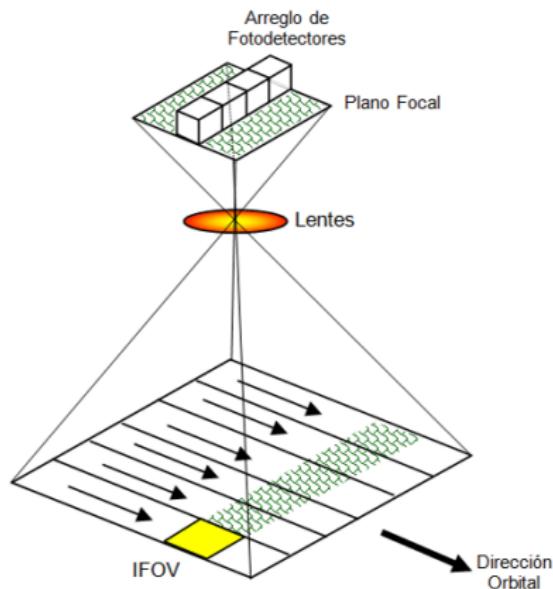


© Wageningen UR 1999

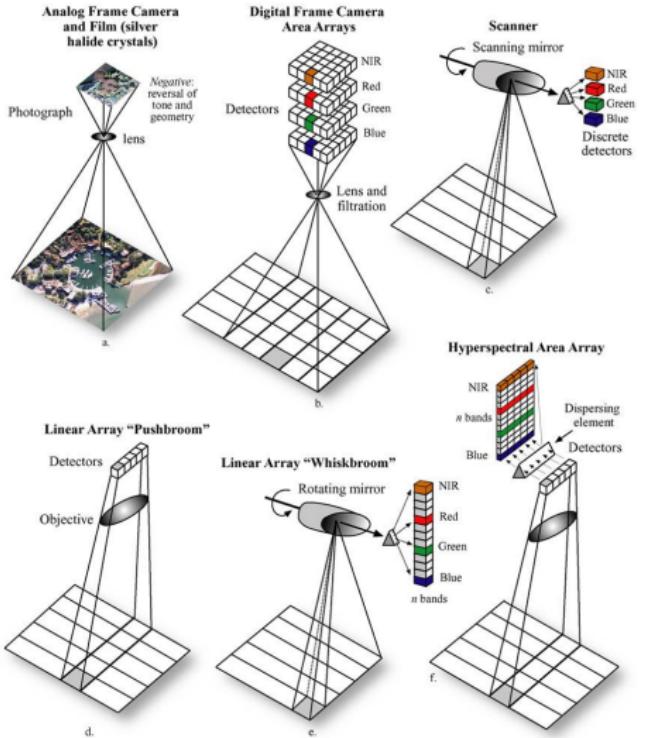
# Barrido vs Empuje



ESCANER DE BARRIDO



ESCANER DE EMPUJE

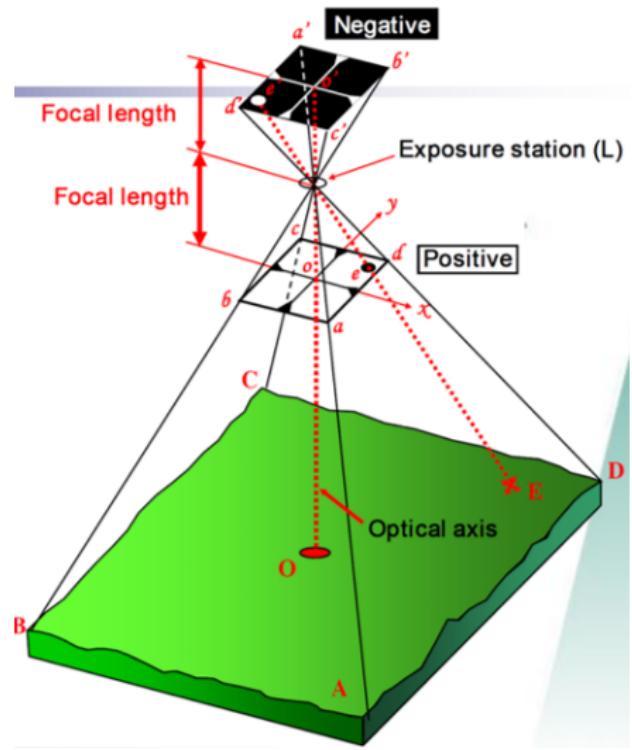


# EarthNow

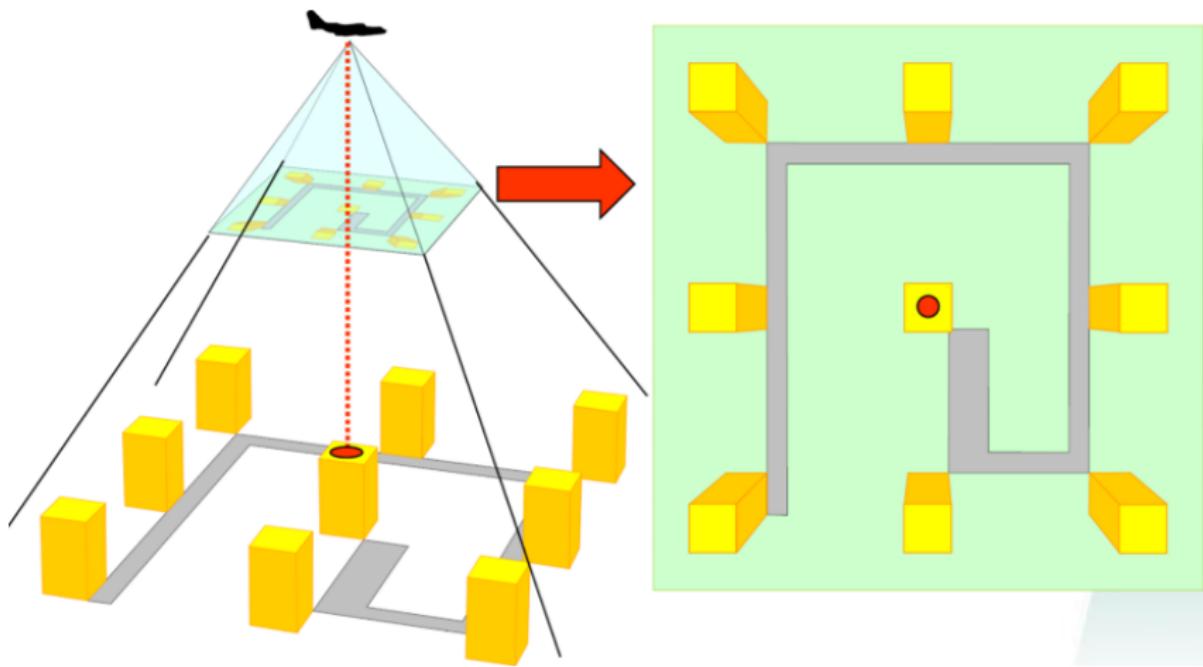
<https://earthnow.usgs.gov/observer/>

The screenshot shows a web browser window for the USGS EarthNow Landsat Image Viewer. The main area displays a satellite image of Europe, specifically focusing on Scandinavia. A yellow rectangular box highlights a specific region over Sweden. In the bottom right corner of the image, there is a small white square with the text "UMBRA". The top navigation bar includes links for Apps, Grupo Bancolombia, DNINFOA - Univers..., Google Earth Engine, Google Earth, Noticias de Colombia, Principales Noticias, Press | Virgin Radio..., Trello, and MACHINE LEARNING. The top right corner features links for USGS Home, Contact USGS, and Search USGS. The bottom left corner has a logo for "OBSERVER farearth" and "POWERED BY PHOTOMASTER SOLUTIONS". On the right side, there is a panel titled "LANDSAT 7 RECORDED RECORDINGS" which shows a preview of the recorded image with a "Band combination" dropdown set to "True color". Below the preview, it displays the date and time: "25 Jun 2020 09:36:35 UTC" and the location: "Sweden 64.27°, 18.72°".

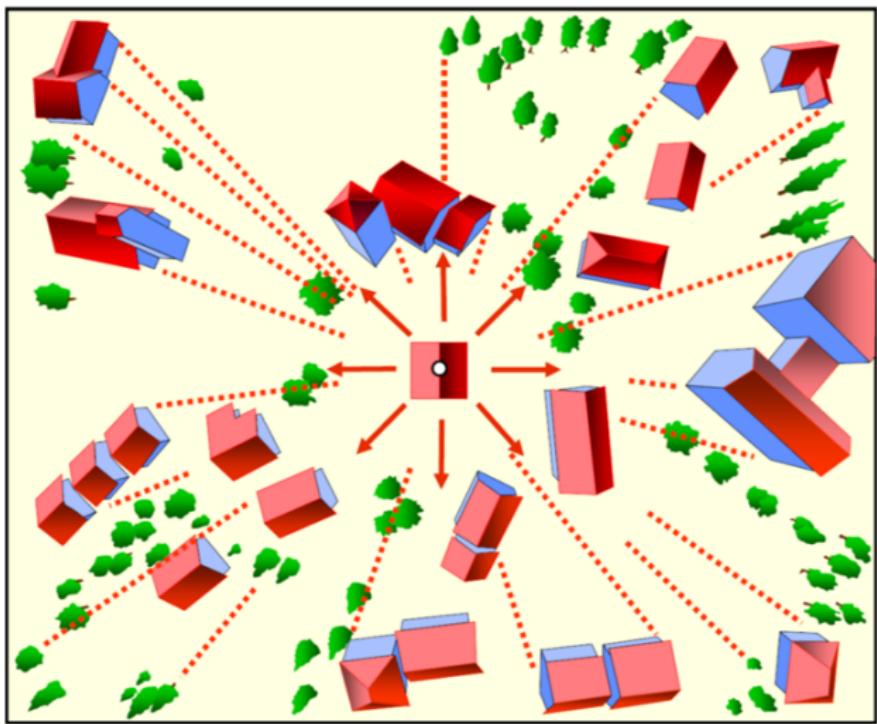
# Fotogrametría



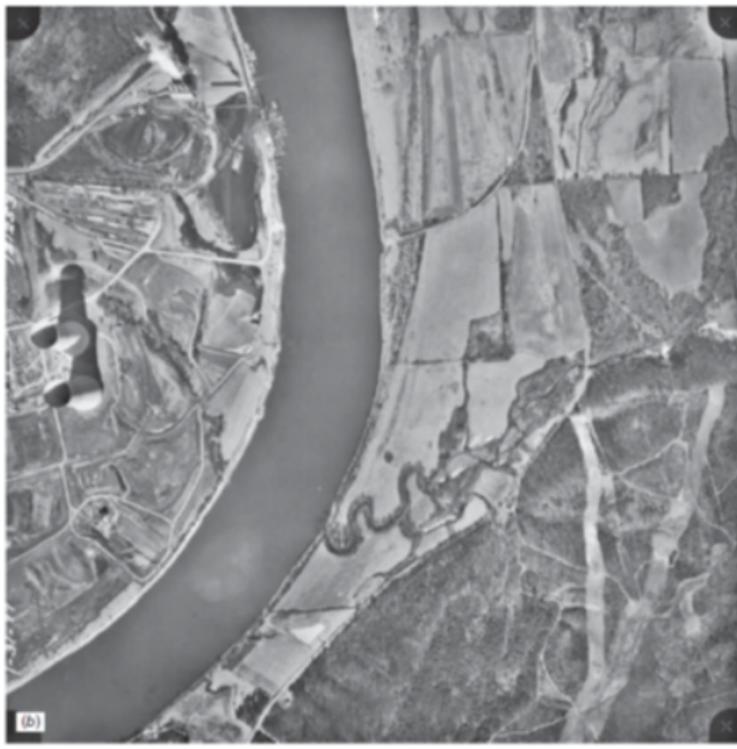
# Proyección Central



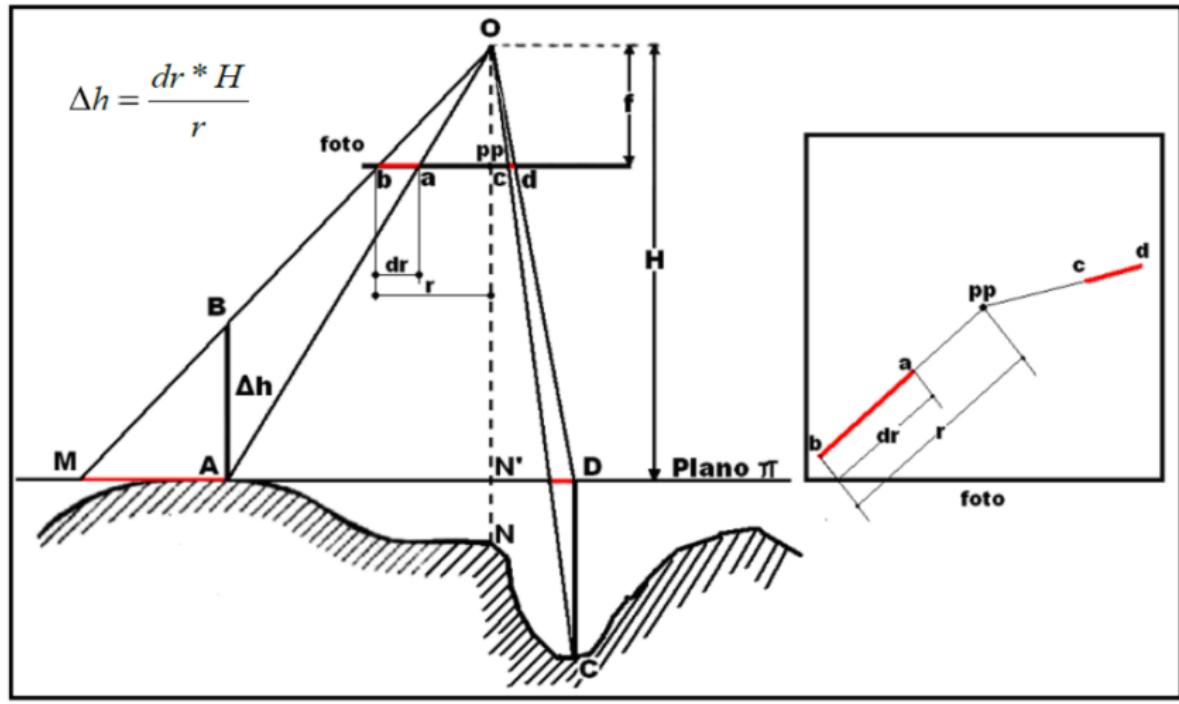
# Proyección Central



# Proyección Central



# Medición de Alturas



# Paralaje

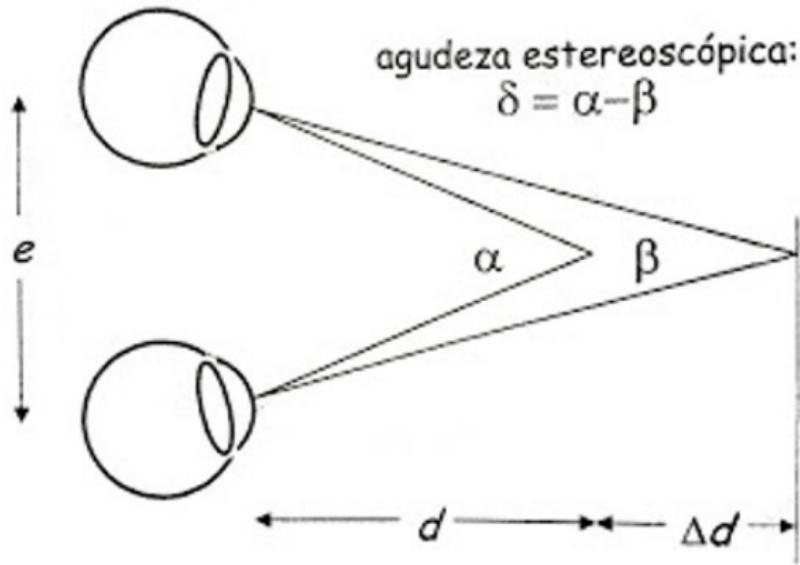


Los ojos convergen en el pulgar.  
El fondo se ve doble

Los ojos convergen en el fondo.  
El pulgar se ve doble

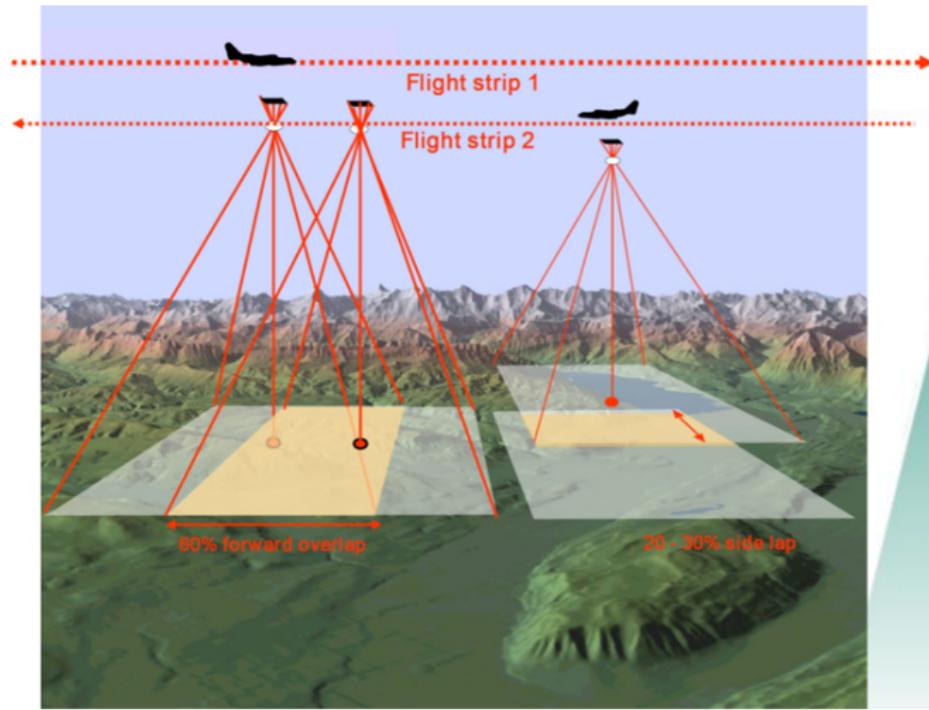
# Agudeza Visual estereoscópica

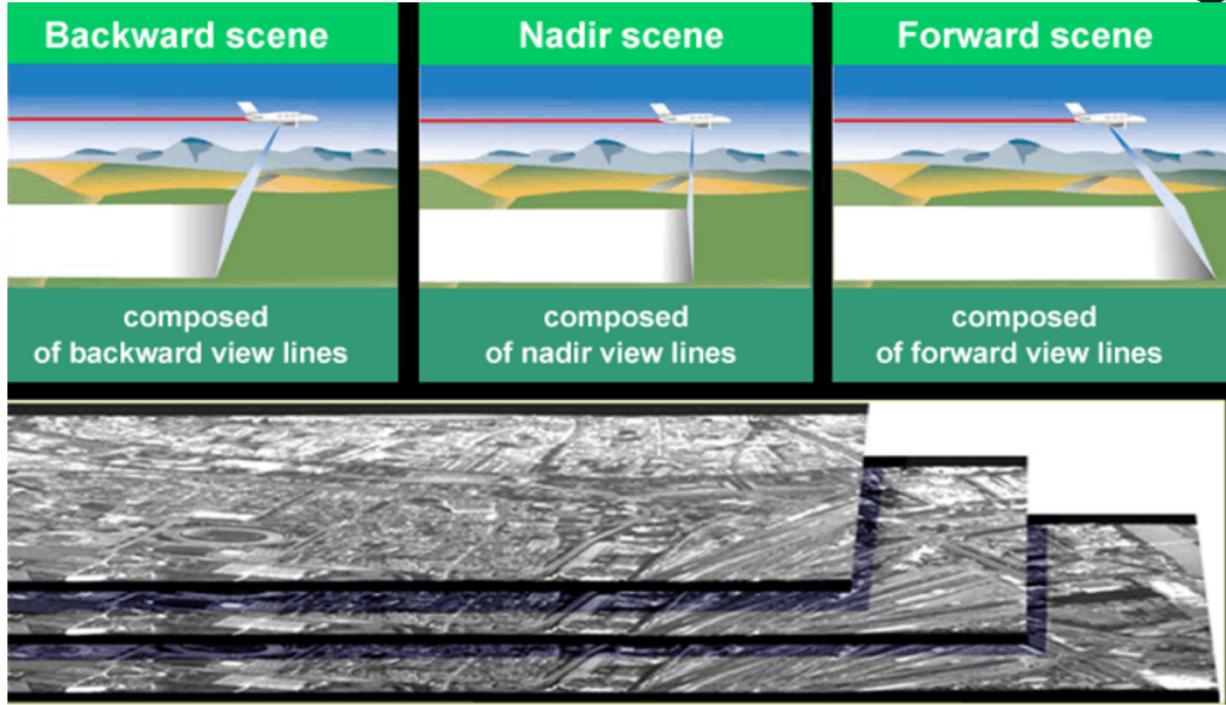
$$\delta \approx \frac{e \Delta d}{d^2} \text{ (en radianes).}$$



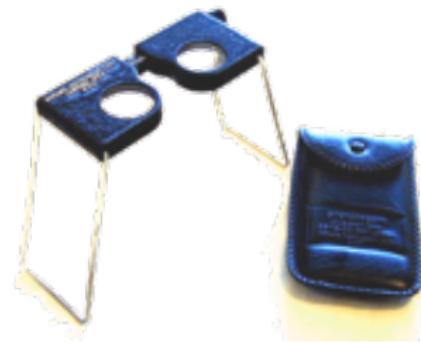


# Estereografía

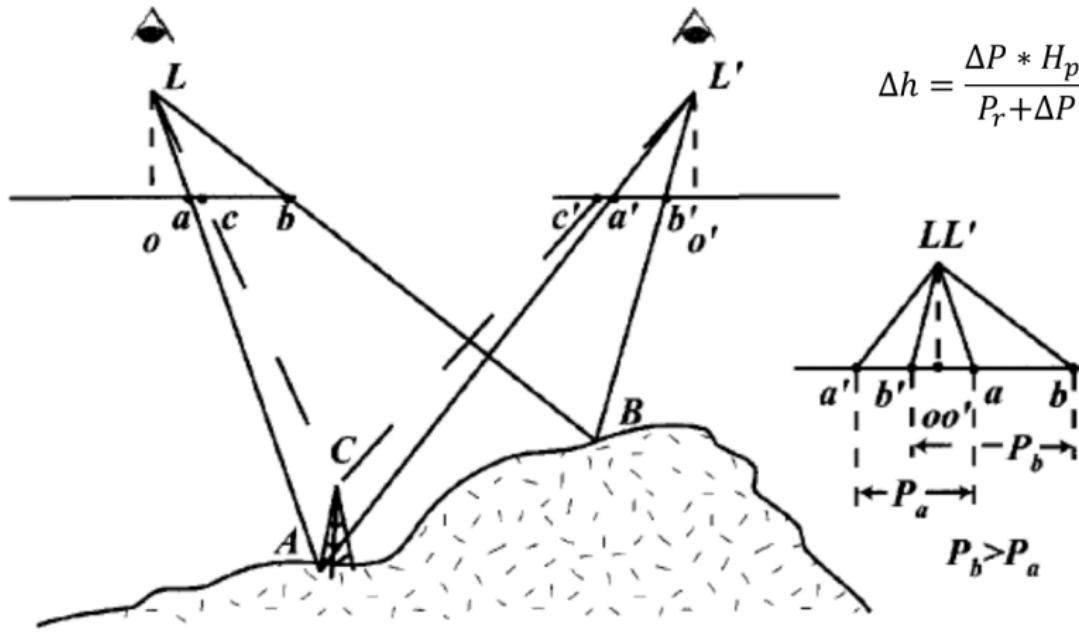




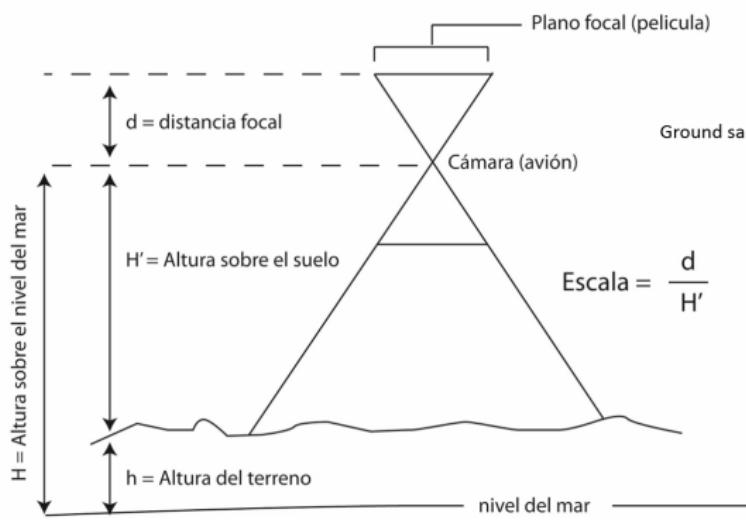
# Estereoscopios



# Medición del Relieve



# Escala



Ground sample distance (GSD)

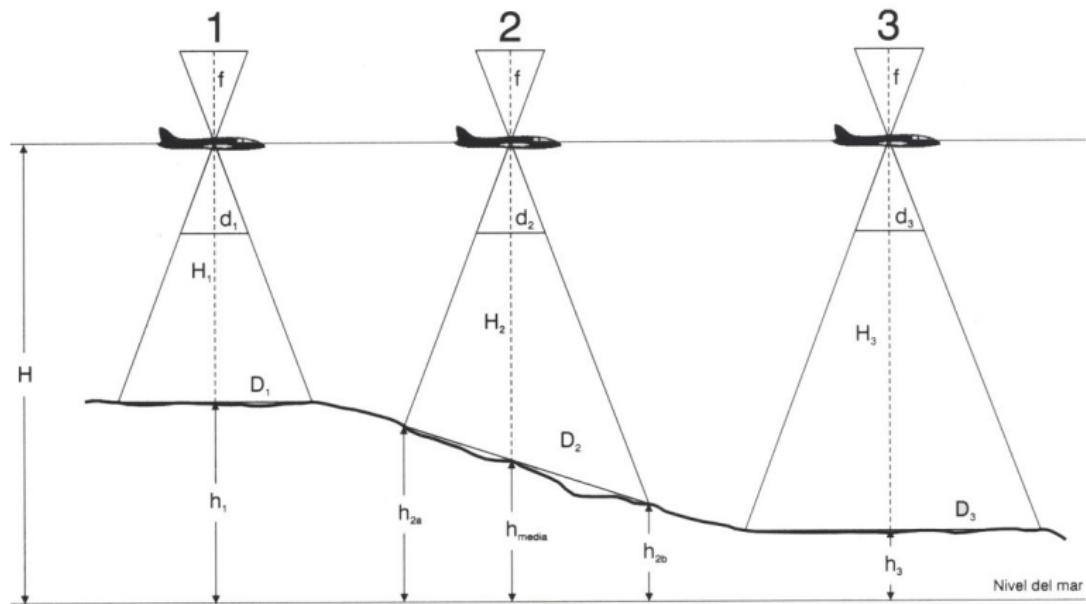
$$\frac{o}{Z} = \frac{i}{f}$$

Instantaneous field of view (IFOV)

$$\left(\frac{i}{o}\right) = \frac{Z}{f}$$

$O$  = longitud del objeto observado  
 $Z$  = distancia entre el objeto y el sensor  
 $i$  = Dimensión lineal del pixel  
 $f$  = distancia focal

# Variación de la Escala



$$E_1 = 1 / [( H - h_1 )/f]$$

$$E_2 = 1 / [( H - h_{media} )/f]$$

$$E_3 = 1 / [( H - h_3 )/f]$$

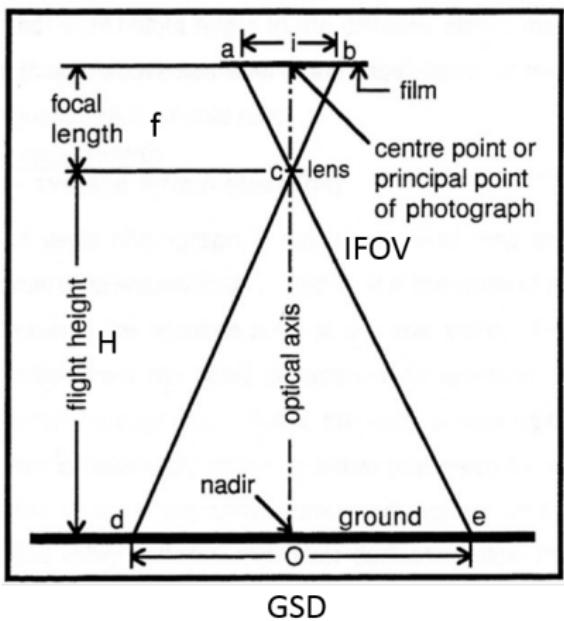


Escalas grandes (1/10.000)

Escalas pequeñas (1:50.000)



# Resolución Espacial



Instantaneous field of view (IFOV)

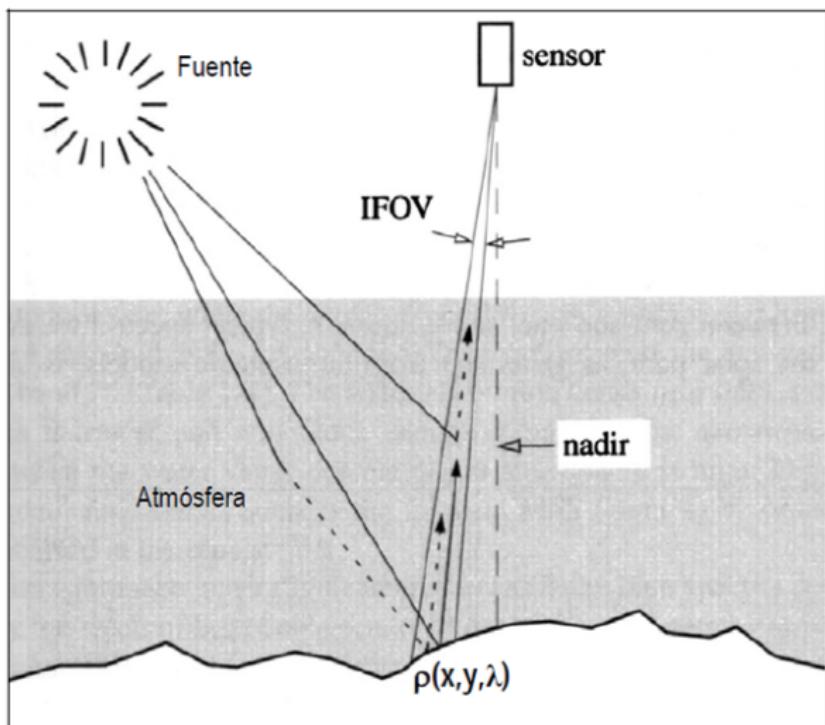
$$\frac{O}{H} = \frac{i}{f}$$

$$\frac{1}{escala} = \frac{i}{O} = \frac{CCD}{GSD} = \frac{f}{H}$$

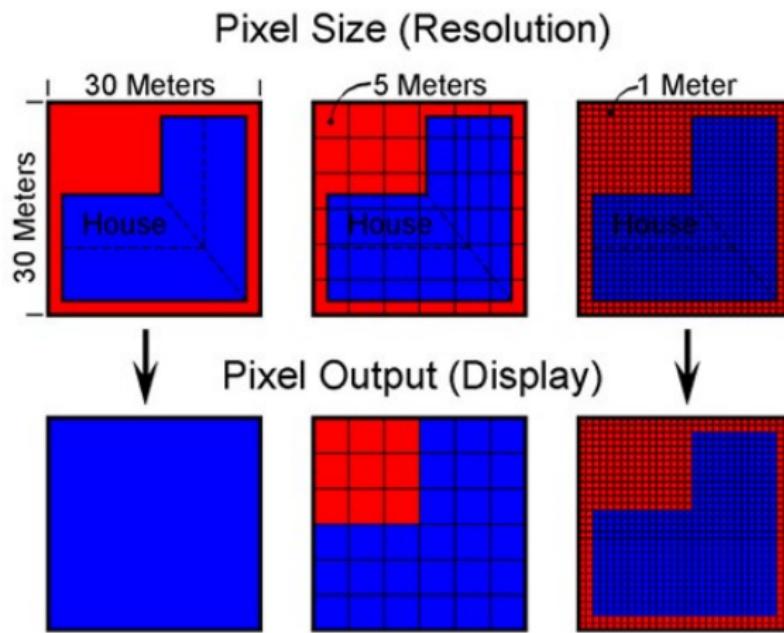
O = Longitud del objeto observado  
H = Distancia entre el objeto y el sensor  
i = Dimensión lineal del pixel  
f = distancia focal  
CCD = Tamaño del detector  
GSD = Ground sample Distance

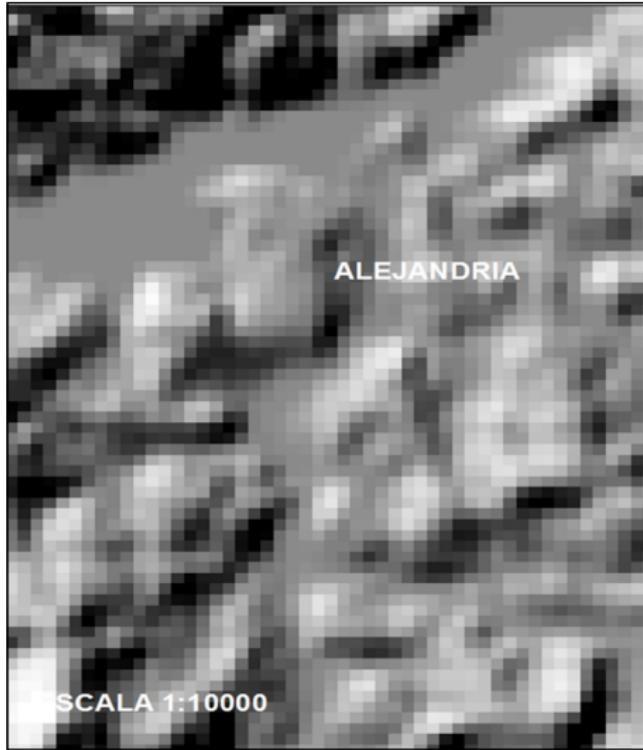
# Resolución espacial

## Instantaneous Field of View



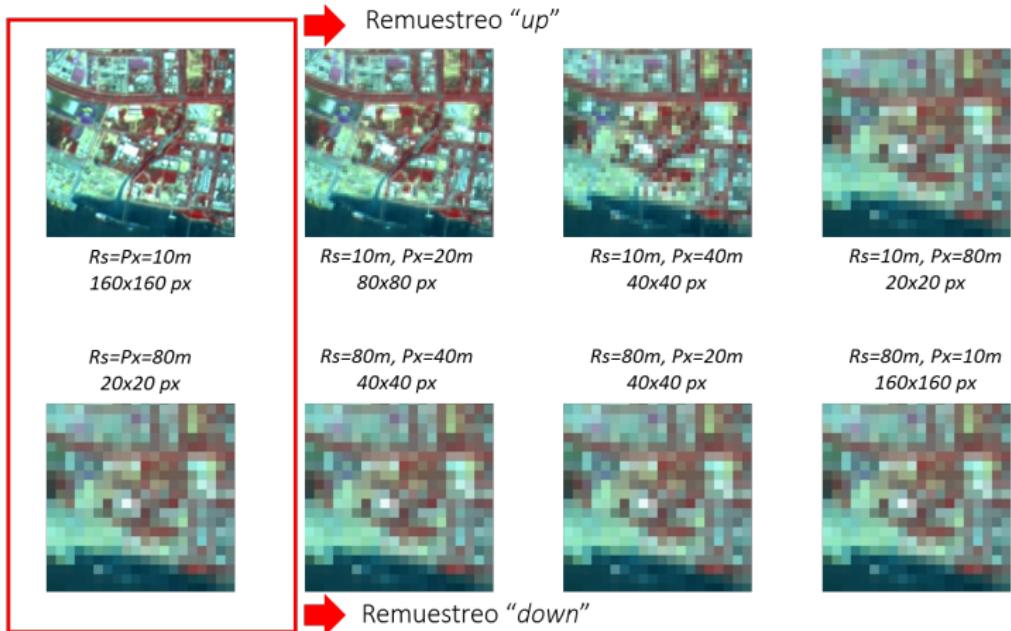
# Resolución Espacial





# Rs vs. Px vs. GSD

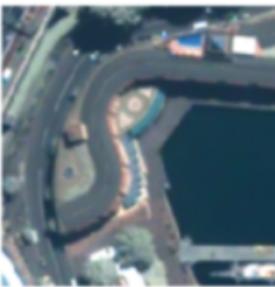
La Rs es diferente al Px y al GSD. Sólo son iguales cuando se encuentra a resolución completa.



# Resolución espacial vs. Escala



Scale 1:50,000  
Cell size: 61 cm

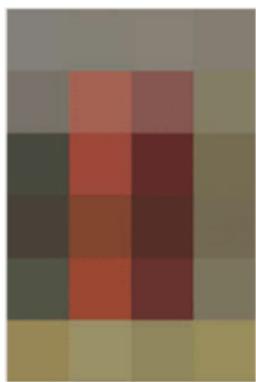
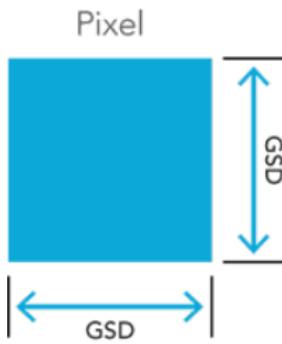


Scale 1:2,500  
Cell size: 61 cm

The scale of the image on the left (1:50,000) is smaller than the scale of the image on the right (1:2,500); however, the **spatial resolution (cell size)** of the data is the same.

# Cuántos pixeles?

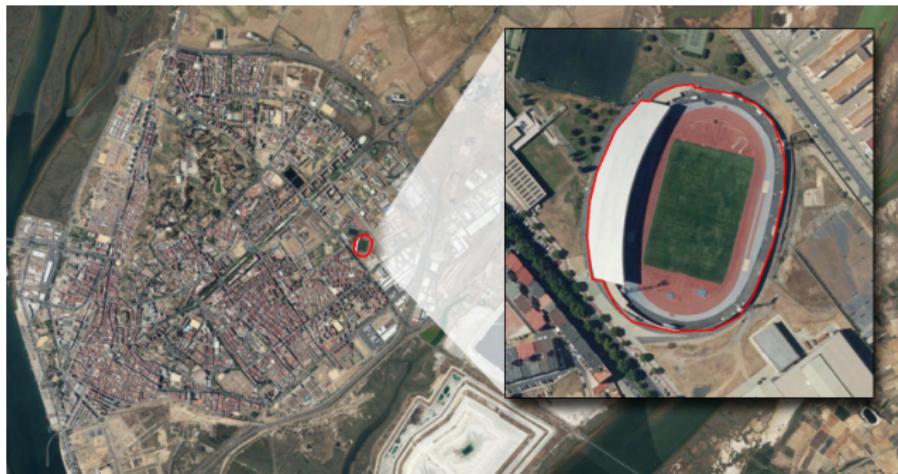
El procesamiento de imágenes está interesado no solamente en la **Detección**: *discernir discretamente los objetos*, sino también en **Reconocer**: *determinar que tipo de objeto es*, y en la **Identificación**: *identificar el objeto específicamente*.



# Área Mínima Cartografiable (AMC)

Pero el nivel de detalle no está limitado sólo por la escala, o la resolución espacial o el número de pixeles, Tambien por el ÁREA MÍNIMA CARTOGRAFIABLE.

**AMC:** Mínima área de un elemento que debe ser representado en un mapa



# Área Mínima Cartografiable

Criterio Salitchev (1979) 4mm x 4mm

CUADRO 1. ÁREA MÍNIMA CARTOGRAFIABLE PARA DIFERENTES ESCALAS (SALITCHEV 1979)

Escala	1 cm igual a		1 mm igual a		Área mínima cartografiable (4 x 4 mm)	
	m	km	m	km	$m^2$	$km^2$
1:500	5	0.005	0.5	0.0005	4	0.000004
1:1,000	10	0.01	1	0.001	16	0.000016
1:2,000	20	0.02	2	0.002	64	0.000064
1:5,000	50	0.05	5	0.005	400	0.0004
1:10,000	100	0.1	10	0.01	1,600	0.0016
1:20,000	200	0.2	20	0.02	6,400	0.0064
1:25,000	250	0.25	25	0.025	10,000	0.01
1:50,000	500	0.5	50	0.05	40,000	0.04
1:100,000	1,000	1	100	0.1	160,000	0.16
1:250,000	2,500	2.5	250	0.25	1,000,000	1
1:500,000	5,000	5	500	0.5	4,000,000	4
1:1,000,000	10,000	10	1000	1	16,000,000	16
1:6,000,000	60,000	60	6000	6	576,000,000	576

# Tamaño del pixel adecuado

**MLA** (Minimum Legible Area) = Área mas pequeña **del terreno** que puede pintarse en el mapa.

**MLD** (Minimum Legible Delineation) = Área mas pequeña **del mapa** que puede ser pintada.

Criterios propuestos:

McBratney et al. (2003) sugiere que debe existir al menos 2 x 2 pixeles para representar el objeto de interés mas pequeño de forma redondeada y al menos 2 pixeles para representar el ancho de un objeto elongado.

Rossiter (2003) sugiere que 4 pixeles pueden ser consideradas como el MLD → Área de 1 pixel = MLD/4

Vink (1975) → MLD = 0,25 cm<sup>2</sup> (25 mm<sup>2</sup>)

MLA = 0,25 mm (para elaboración manual) – 0,10 mm (para cartografía automática)

Ej. El pixel debe ser menor que el área mas pequeña a cartografiar (para que sean varios pixeles):

$$p \leq \sqrt{\frac{MLD}{4}} = \frac{\sqrt{SN^2 \cdot 0.000025}}{2} = SN \cdot 0.0025$$

Ej. El pixel debe ser mayor que lo mas pequeño que puede pintarse en el mapa (en caso contrario no se podría pintar):

$$p \geq SN \cdot MLA = SN \cdot 0.00025 (0.0001)$$

$$1:50 K \rightarrow (50.000)^2 \times 0,000025 m^2 = 62,500 m^2$$

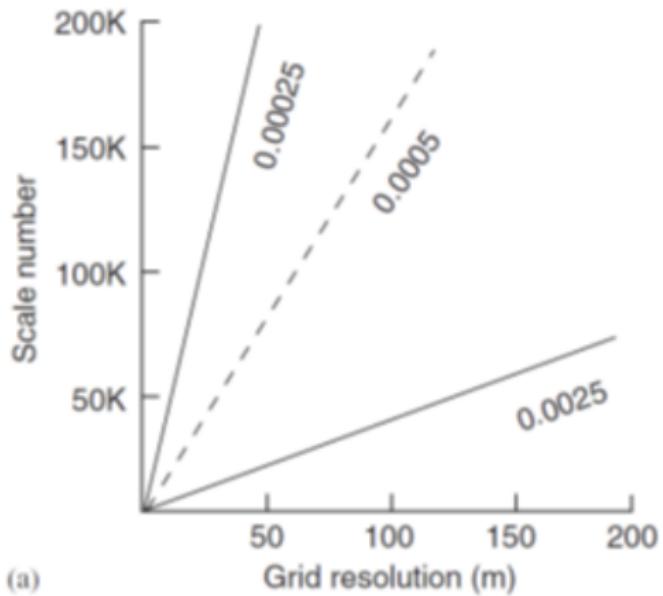
MLD corresponde a 62,500 m<sup>2</sup> en el terreno → p: 125 m

1:50 K → p = 0,25 mm (manual) x 50,000 = 12,5 m en el terreno

1:50 K → p = 0,10 mm (digital) x 50,000 = 5 m en el terreno

Fuente: Hengl (2006)

# Tamaño del pixel adecuado



# Tamaño del pixel adecuado

## Regla de Waldo Tobler (1967)

*"The rule is: divide the denominator of the map scale by 1,000 to get the detectable size in meters. The resolution is one half of this amount."*

$$\text{Map Scale} = \text{Raster resolution (in meters)} * 2 * 1000$$

Map scale	Detectable size (in meters)	Raster resolution (in meters)
1:1,000	1	0.5
1:5,000	5	2.5
1:10,000	10	5
1:50,000	50	25
1:100,000	100	50
1:250,000	250	125
1:500,000	500	250
1:1,000,000	1,000	500

# Tamaño del pixel adecuado

Número de pixeles: 16

SISTEMA	RESOLUCION DEL PIXEL	HA/PIXEL	TAMAÑO MINIMO (ha) (16 Pixeles)	LADO (m)
LANDSAT 7 – TM	30 x 30	0.0900	14.4000	120
SPOT XS	20 x 20	0.0400	0.6400	80
SPOT PAN	10 x 10	0.0100	0.1600	40
IKONOS XS	4 x 4	0.0016	0.0256	16
IKONOS PAN	1 x 1	0.0010	0.0016	4

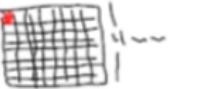
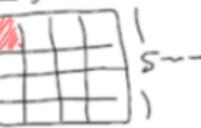
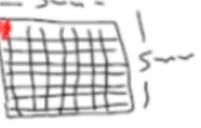
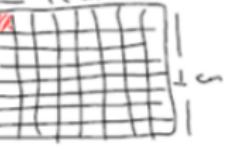
# Ejemplo

## LANDSAT Px=30 m & 4 Px muestreo mínimo

- MLD 1 mm x 1 mm → 1 mm=2 px → 1 mm= 60 m → 1:60.000
- MLD 4 mm x 4 mm (Salichev, 1979) → 2 mm=1 px → 2mm=30 m → 1:15.000
- MLD 1 cm x 1 cm → 1 px= 5 mm → 30m=5 mm → 1:6.000

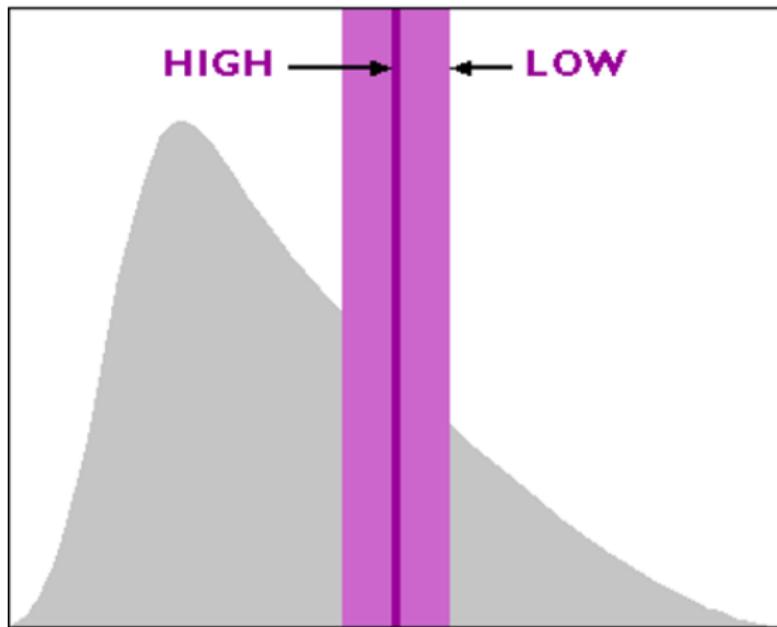
## LANDSAT Px=10 m & 64 Px muestreo mínimo

- MLD 1 mm x 1 mm →
- MLD 4 mm x 4 mm (Salichev, 1979) →
- MLD 1 cm x 1 cm →

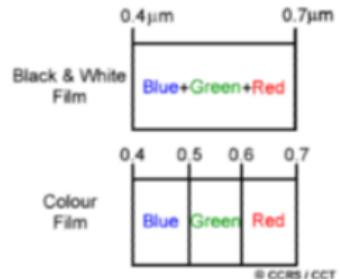
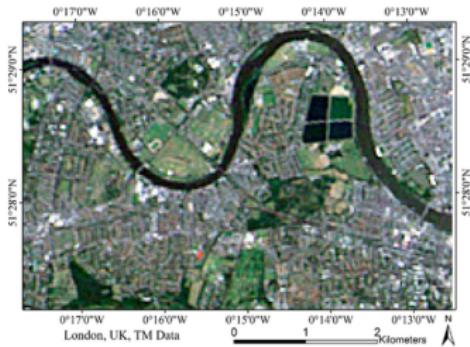
	$4Px (2 \times 2)$	$16Px (4 \times 4)$	$64Px (8 \times 8)$
1	 $P_x = 2 \text{ mm}$	 $P_x = 1 \text{ mm}$	 $P_x = 0,5 \text{ mm}$
2	 $P_x = 2,5 \text{ mm}$	 $P_x = 1,25 \text{ mm}$	 $P_x = 0,625 \text{ mm}$
3	 $P_x = 5 \text{ mm}$	 $P_x = 2,5 \text{ mm}$	 $P_x = 1,25 \text{ mm}$

# Resolución Espectral

Spectral Resolution



# sharpening



Broadband



LWIR

Multispectral

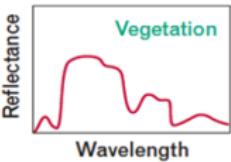
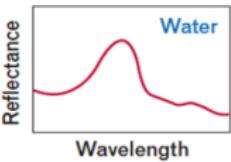
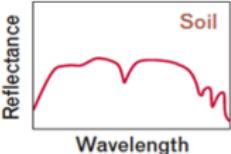
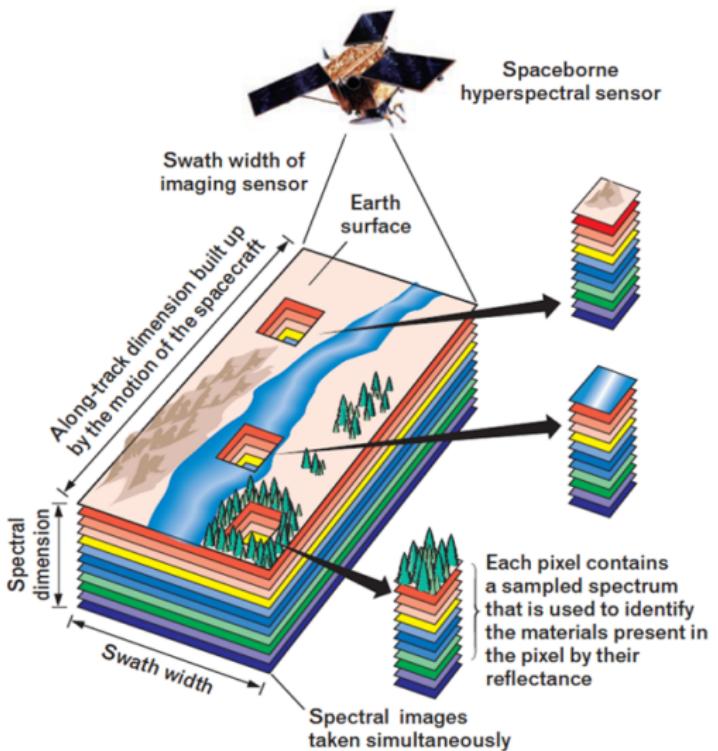
Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7
.45-.52	.52-.60	.63-.69	.79-.90	1.55-1.75	2.08-2.35	10.4-12.4

Hyperspectral



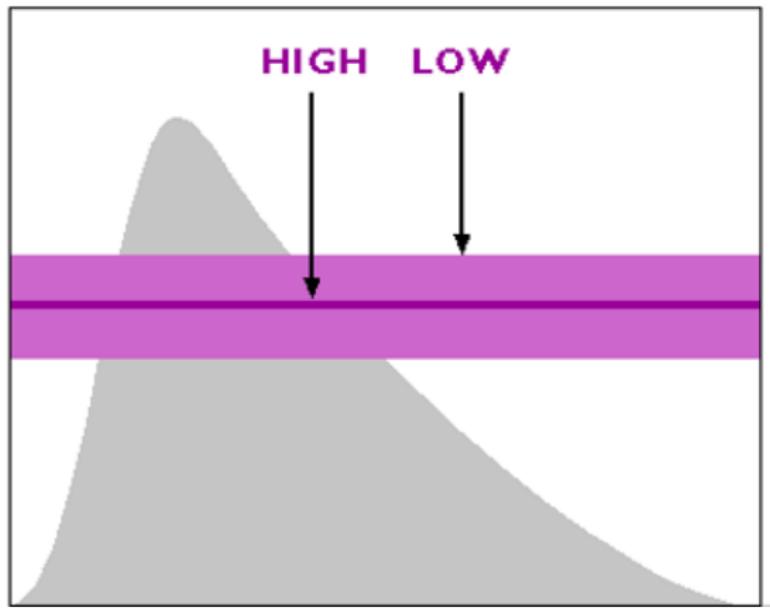
Ultraspectral



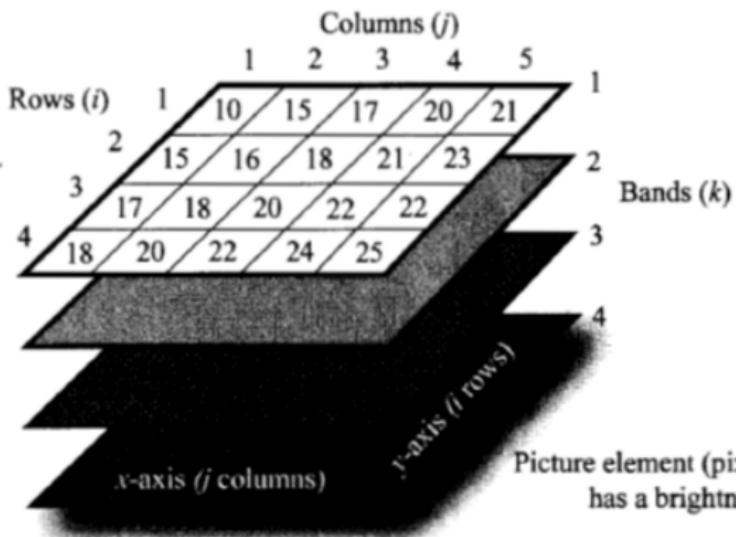


# Resolución Radiométrica

## Radiometric Resolution



## Digital Image Terminology



Picture element (pixel) at location row 4, column 4, band 1  
has a brightness value of 24, i.e.,  $BV_{4,4,1} = 24$

**Brightness value range (often 8-bit)**

255 white

127 gray

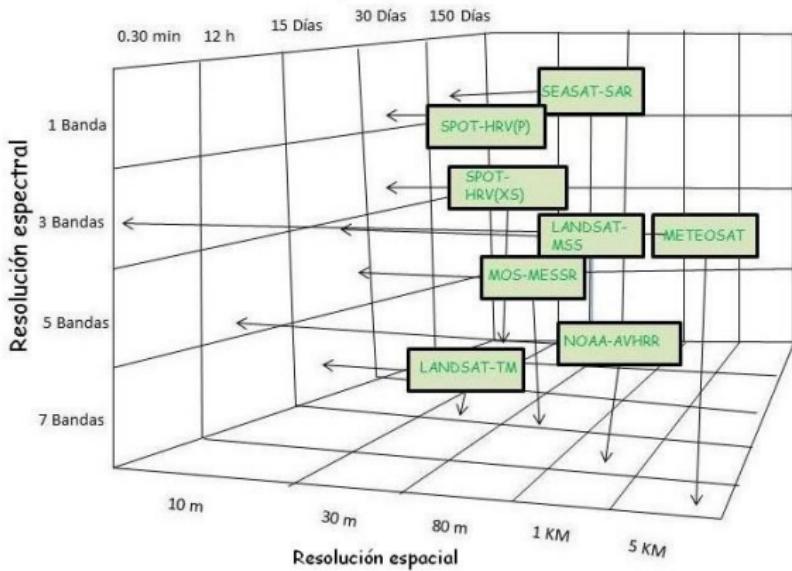
0 black

**Associated grayscale**

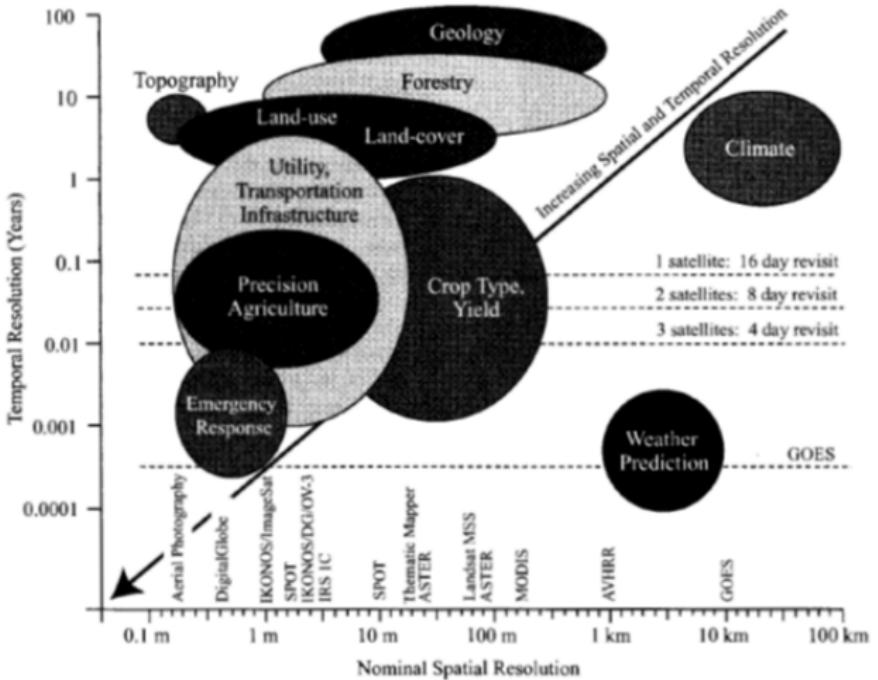




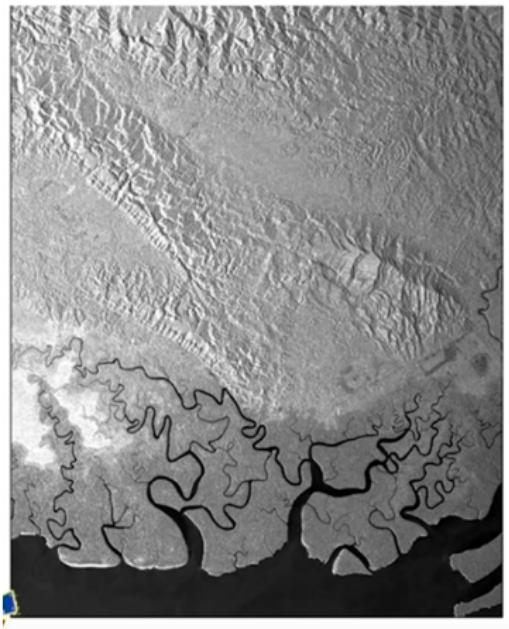
## Resolución temporal



## Spatial and Temporal Resolution for Selected Applications



Radar

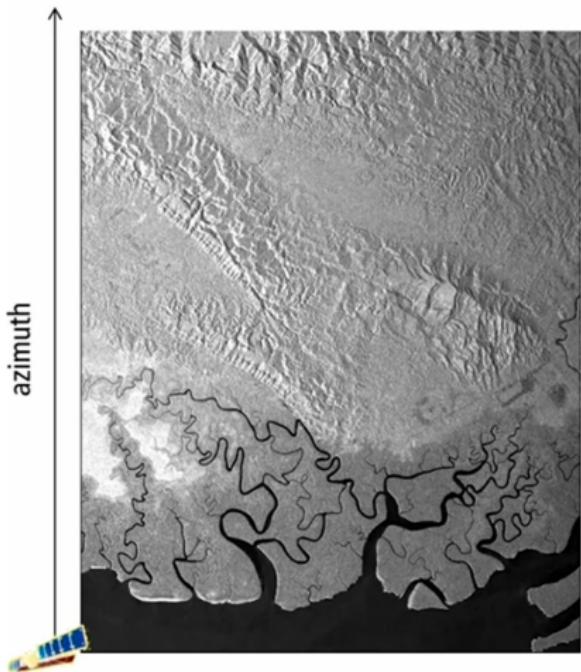


Óptico



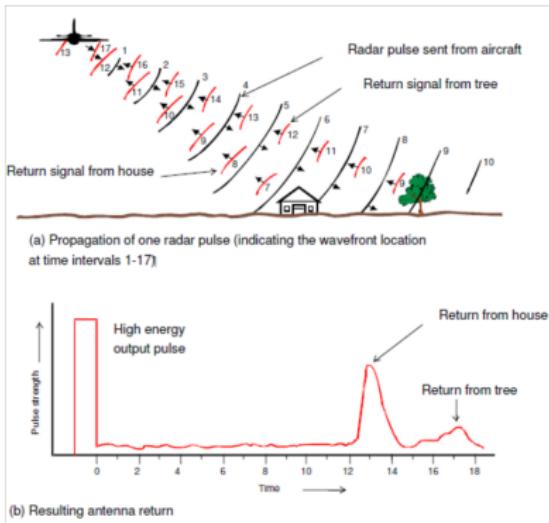
EAGE E-lecture: Satellite InSAR Data by Alessandro Ferretti

# RAdio Detection And Ranging



1. Day/night monitoring  
active system, no need for external illumination
2. All-weather  
It penetrates clouds, rain, dry sand and, partially, vegetation
3. Coherent  
travel path changes can be measured with the accuracy of a fraction of the wavelength

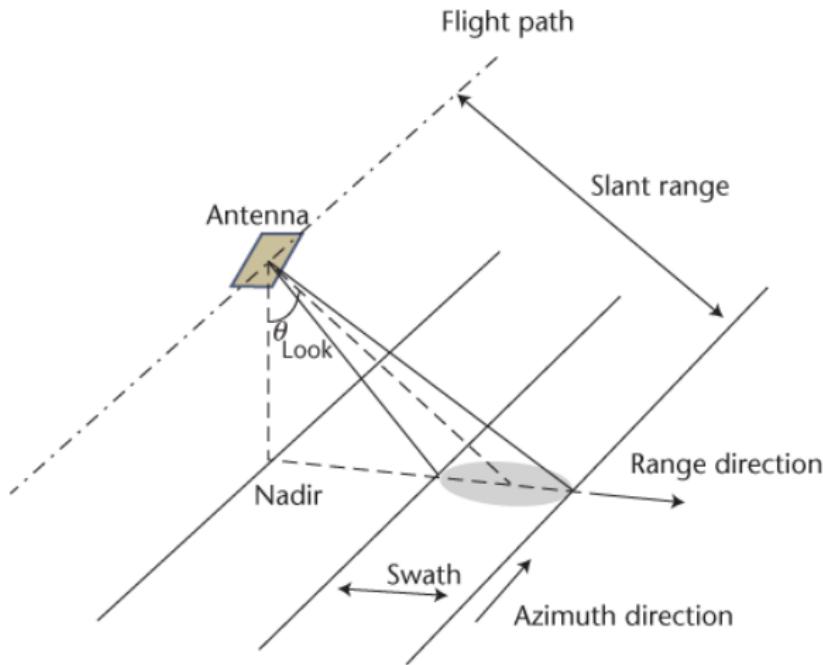
**Radar**—Sensor de rango y radio detección que provee su propia fuente de energía electromagnética. Emite radiación de microondas en una serie de pulsos desde una antena. Cuando la energía alcanza su objetivo parte de la energía se reflejada hacia el sensor. Esta radiación es detectada, medida y se estima el tiempo de viaje.



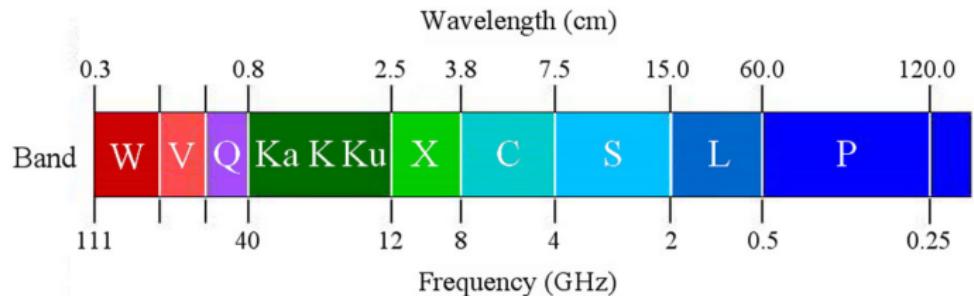
$$\overline{SR} = \frac{ct}{2}$$

$\overline{SR}$  = slant range (direct distance between transmitter and object)  
 $c$  = speed of light ( $3 \times 10^8$  m/sec)  
 $t$  = time between pulse transmission and echo reception

# Imaging Radar Geometry

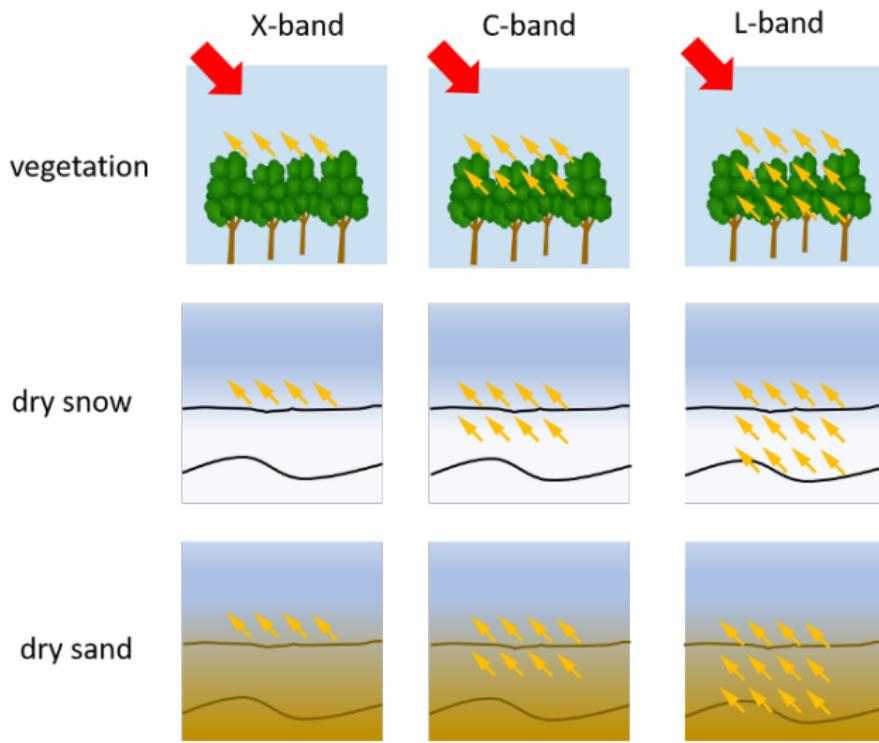


Credit: NASA

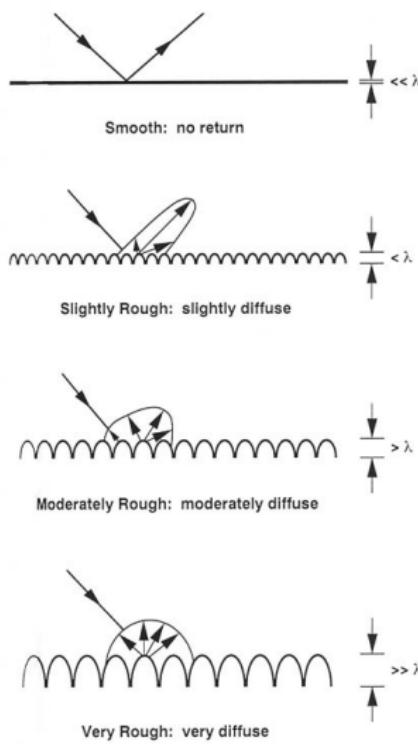


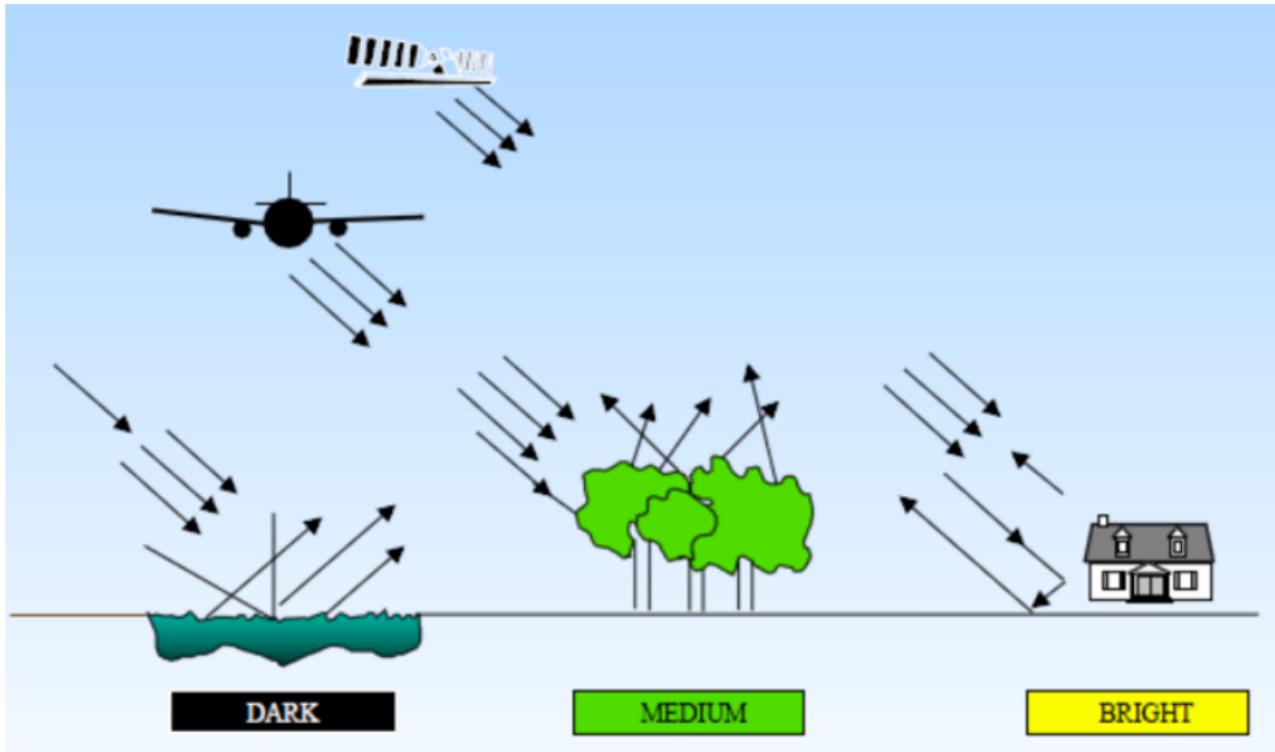
Band	Wavelength (cm)	Frequency (GHz)
K	0.83–2.75	36.0–10.8
X	2.75–5.21	10.9–5.74
C	5.22–7.14	5.75–4.20
S	7.15–19.74	4.21–1.54
L	19.75–76.9	1.55–0.39
P	>76.9	<0.39

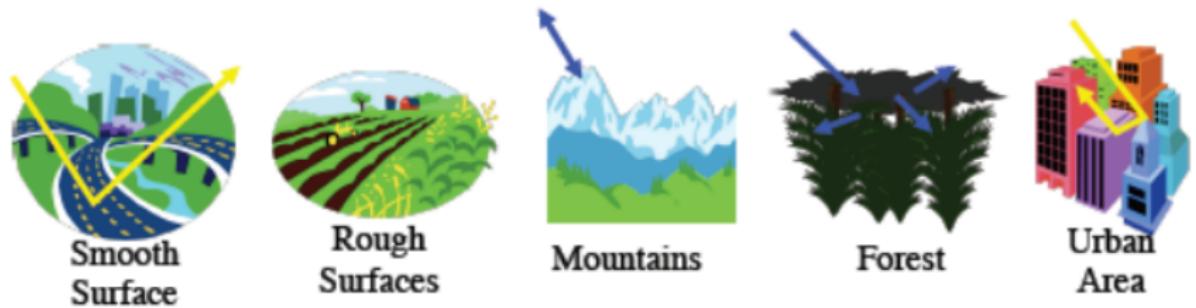
# Radar Penetration by Frequency

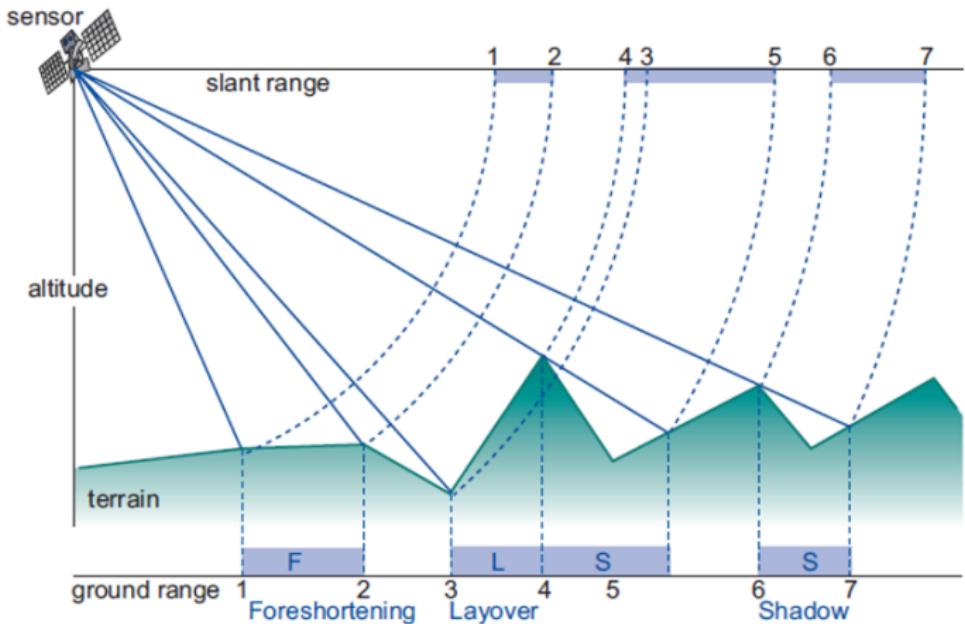


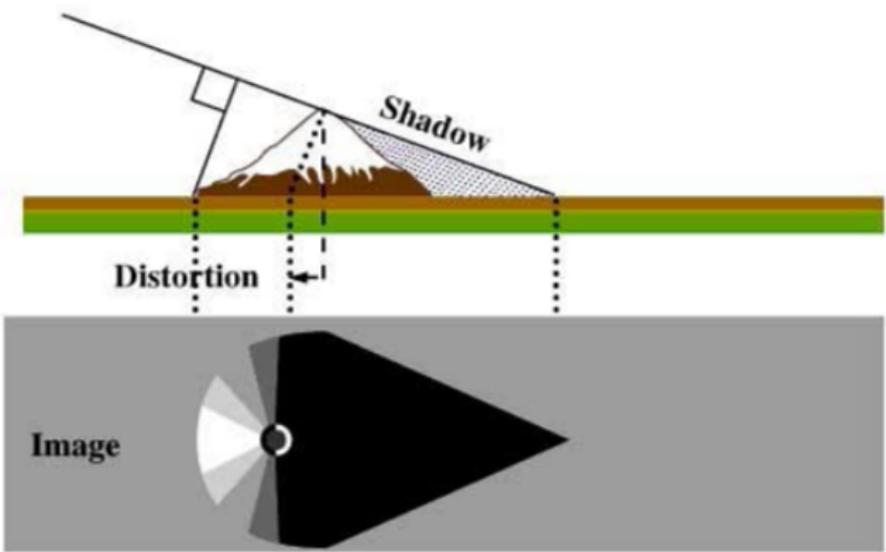
# Surface Roughness Scattering

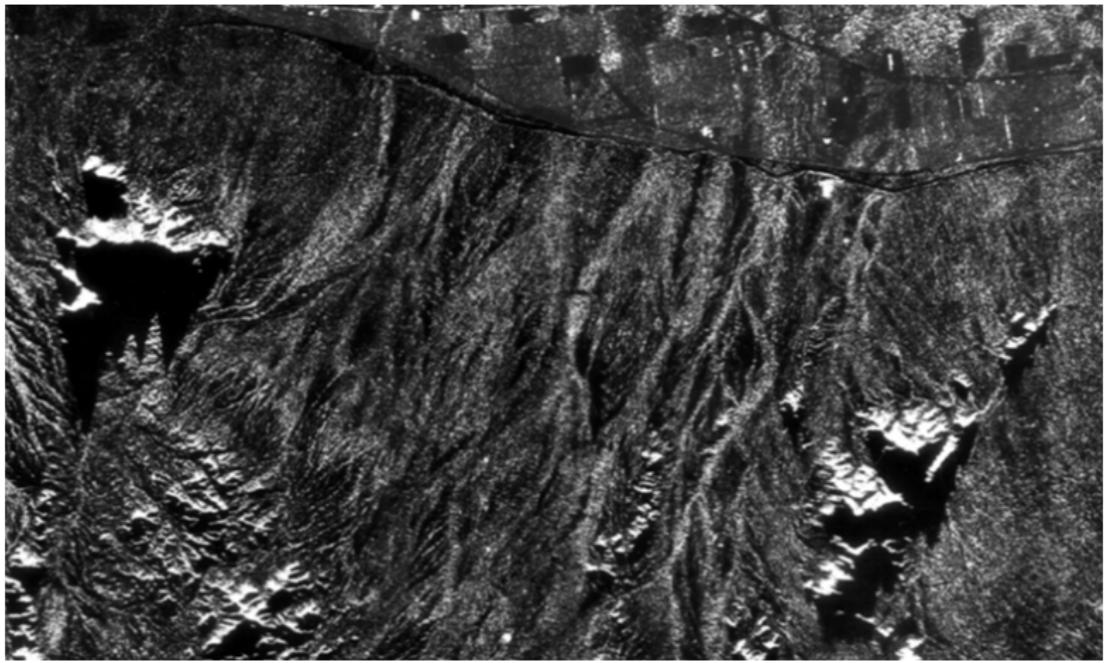




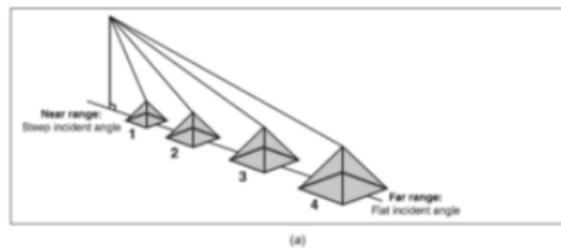




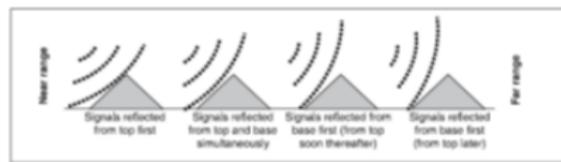




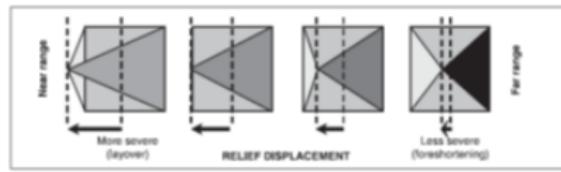
# Desplazamiento del Relieve



(a)

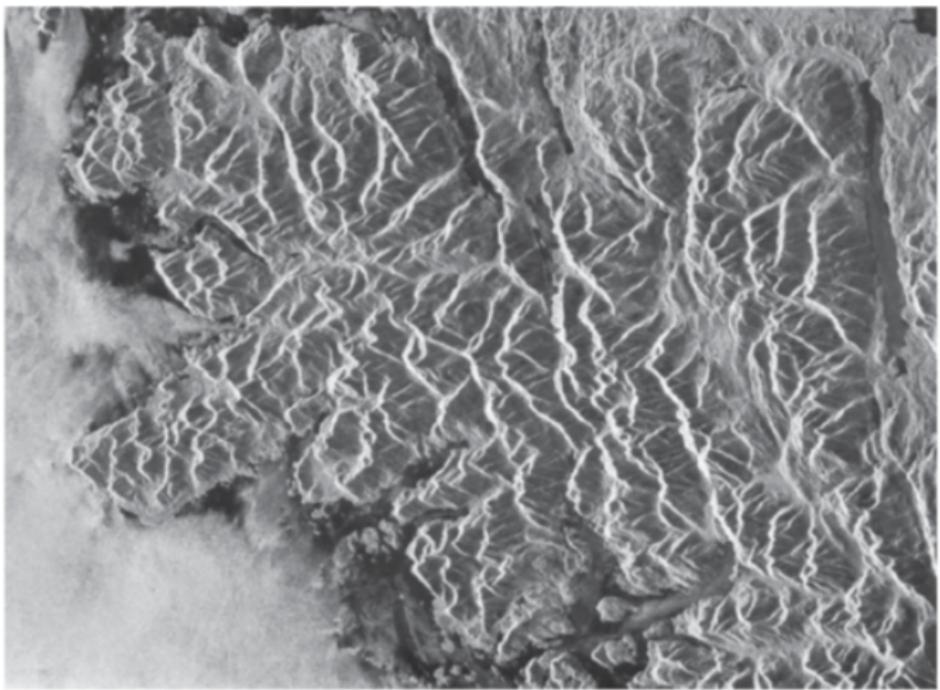


(b)



(c)





**Figure 6.17** ERS-1 radar image, C band, Vancouver Island, British Columbia, midsummer. Scale 1:625,000. (ESA, Courtesy Canada Centre for Remote Sensing.)

# Atenuación

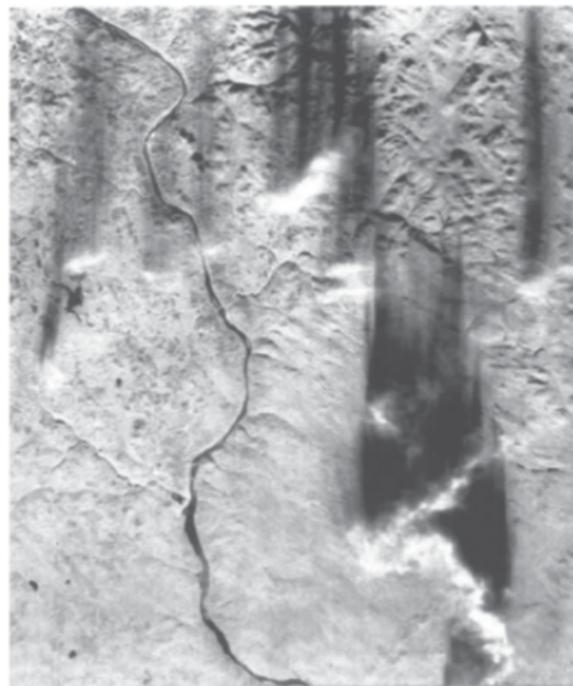


Figure 6.20 X-band airborne radar image acquired near Woodstock, New Brunswick, Canada, illustrating an unusual shadow effect created by severe rainfall activity and radar signal attenuation. (Courtesy Agriculture and Agri-Food Canada, Fredericton, NB, Canada.)

# Geometric Effects in SAR Imagery

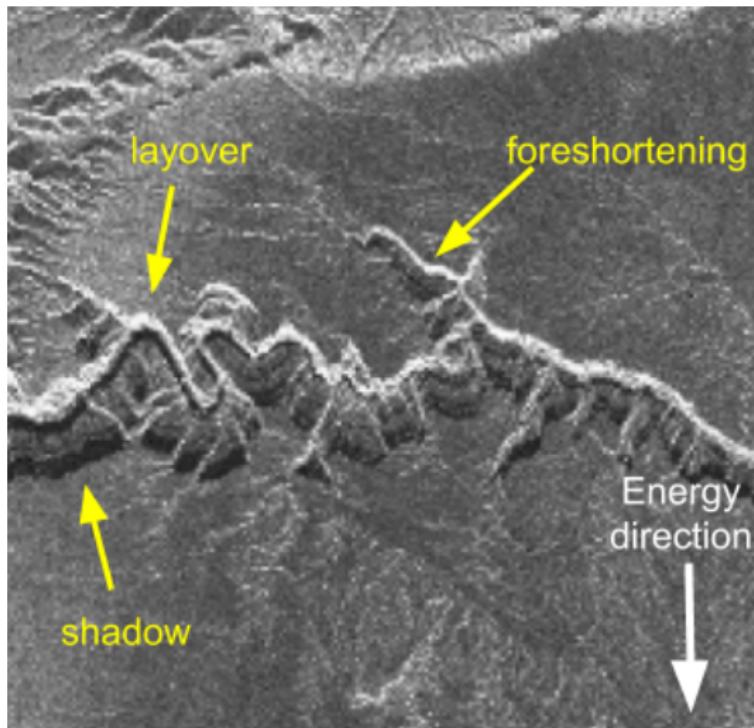
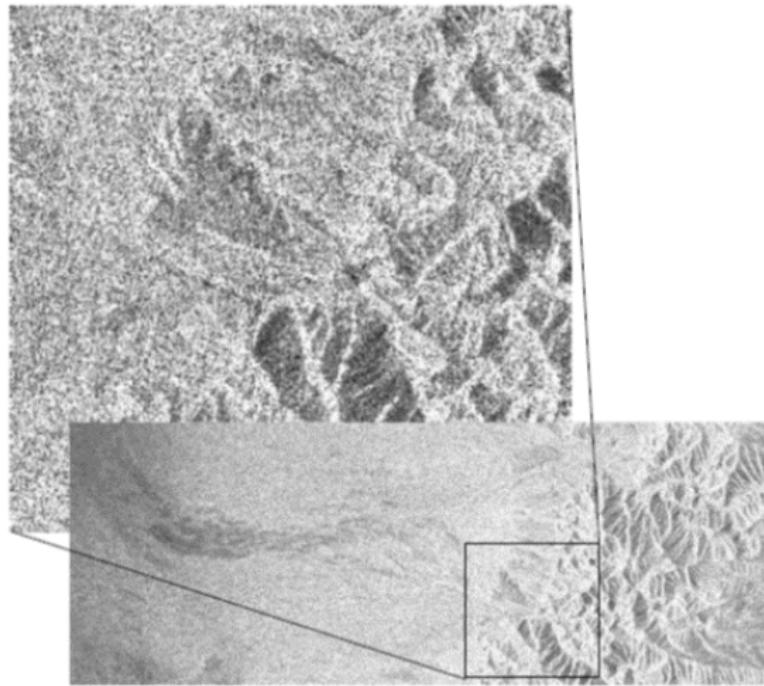


Image Credit: ERS, ESA 2011. Retrieved from ASF DAAC 20 January 2020.

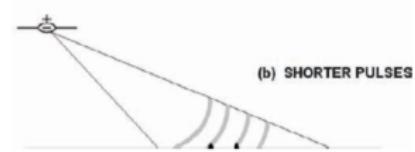
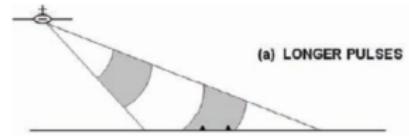
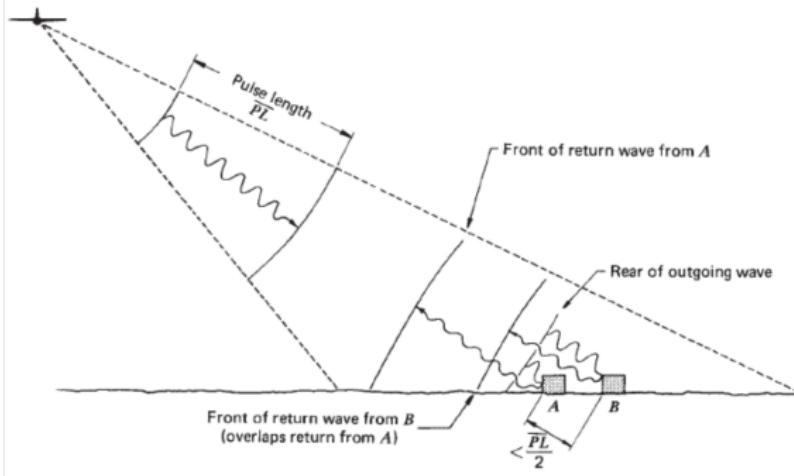
# *Speckle "salt & pepper"*



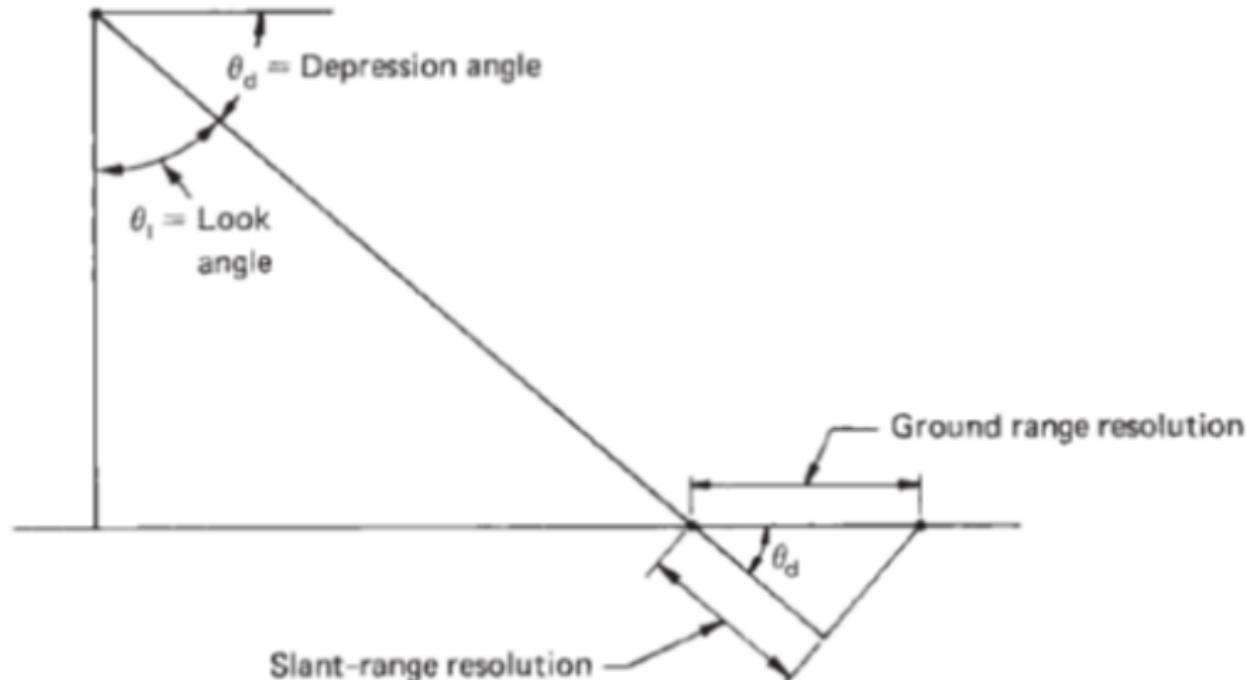
# Resolución Espacial

El tamaño de la resolución de la celda en el terreno está controlado por dos sistemas independientes:

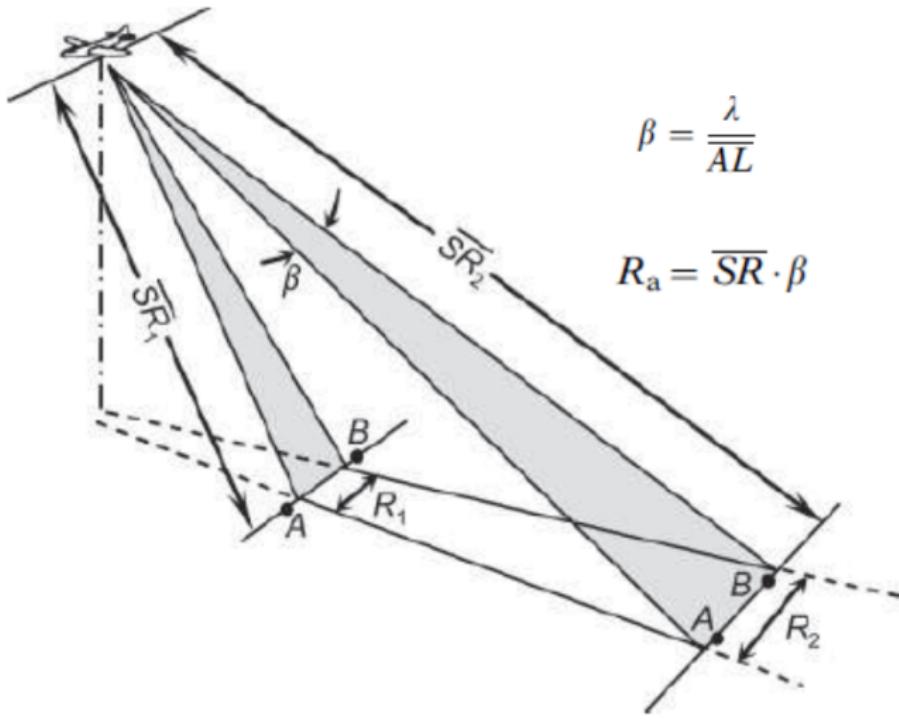
- A. **Longitud del pulso:** determina la resolución espacial en la dirección de la energía de propagación (*range direction*). Esta determinado por la longitud del tiempo que la antena emite el pulso de energía.
- B. **Ancho de banda de la antena.** Determina la resolución del tamaño de celda en el sentido del vuelo o el azimuth.



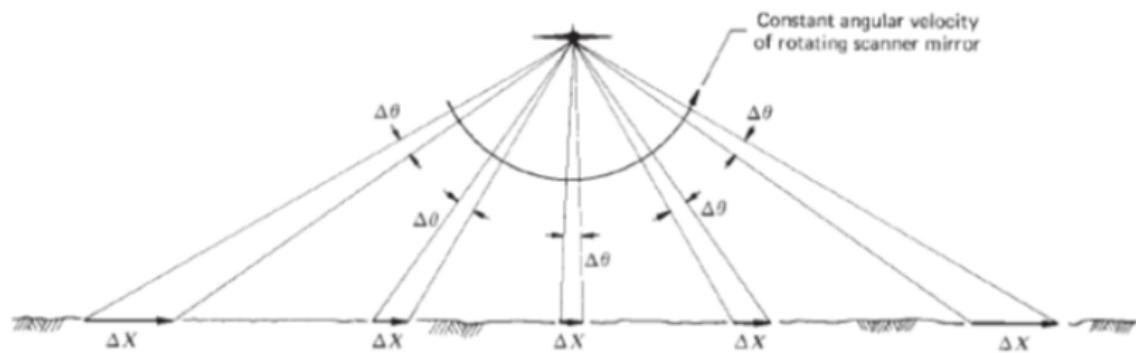
# Range



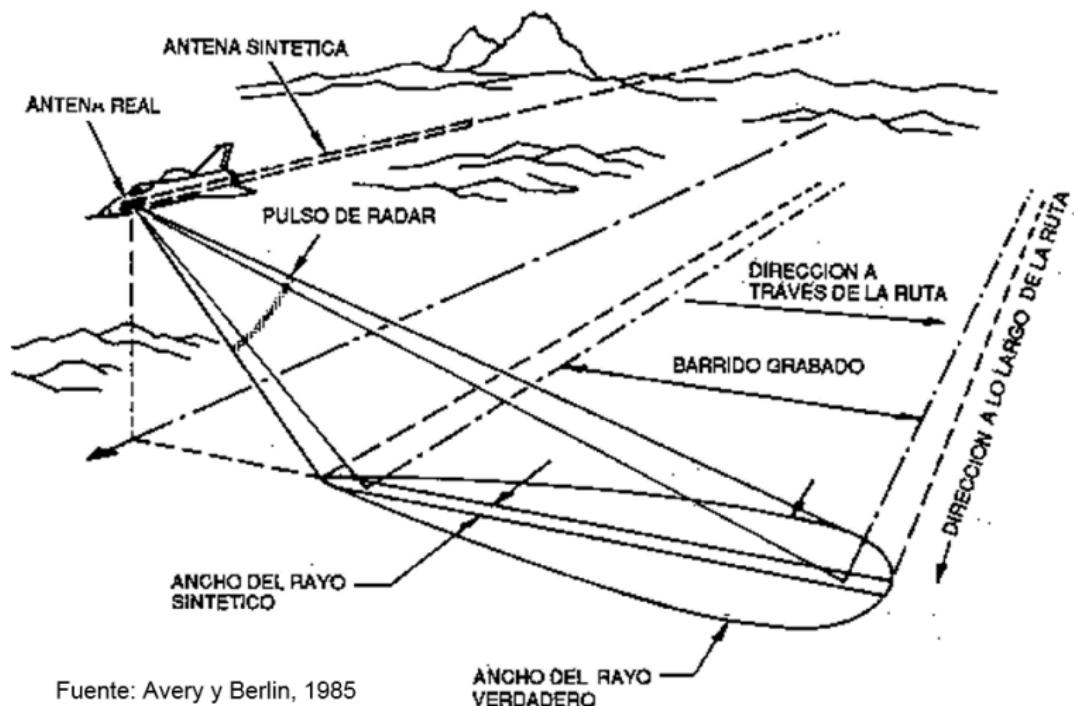
# Azimuth



# Distorsión

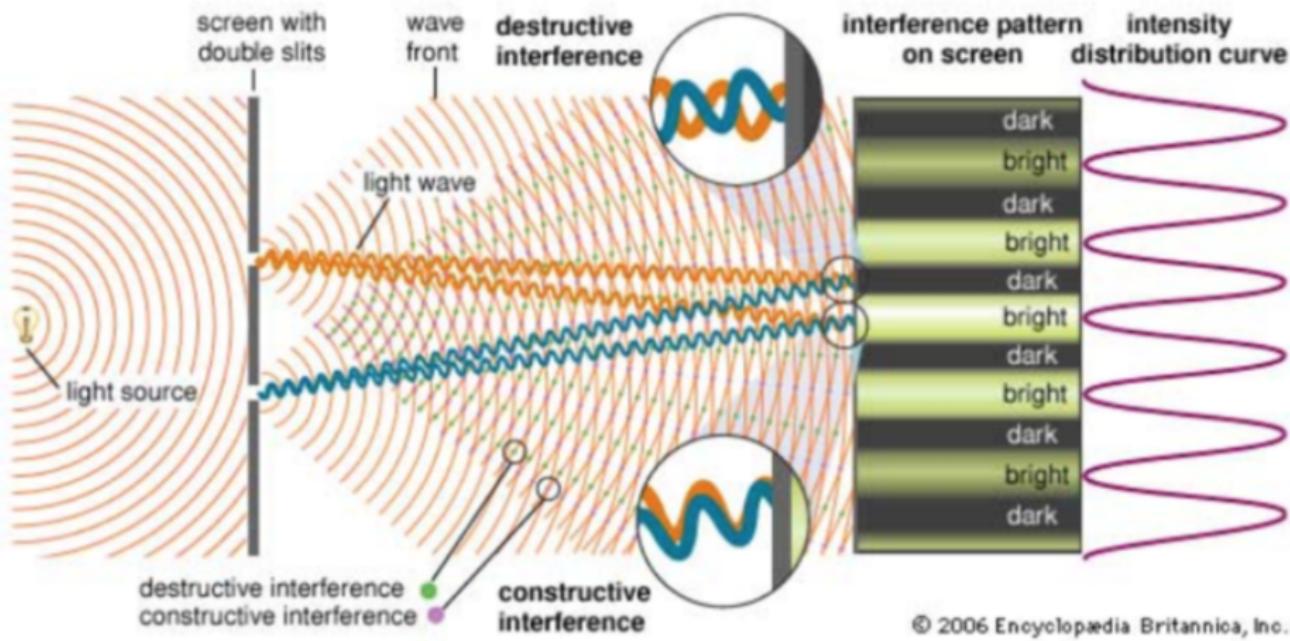


# Apertura Real (SLAR) vs Sintética (SAR)



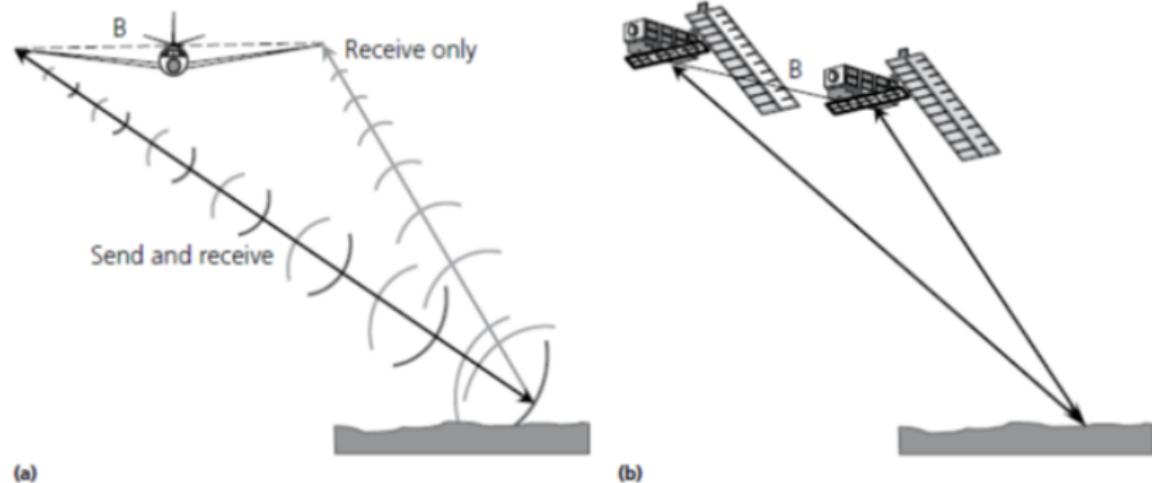
Fuente: Avery y Berlin, 1985

# Interferometría



© 2006 Encyclopaedia Britannica, Inc.

# InSAR (Interferometric SAR)

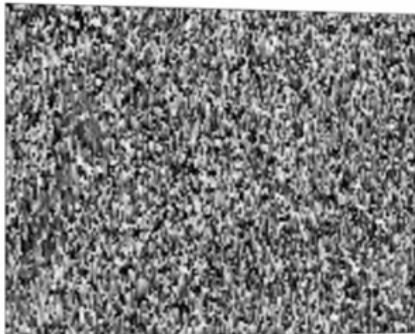


**Fig. 10.1** (a) The single-pass SAR interferometer with both an active antenna, sending and receiving radar signals, and a passive antenna (separated by a distance  $B$ ) to receive signals only; and (b) a repeat pass SAR interferometer to image the same area at two visits with a minor orbital drift  $B$ .

A SAR image is a set of pixels characterized by both amplitude and phase values.

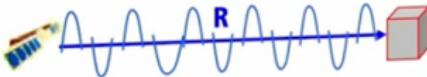


Amplitude

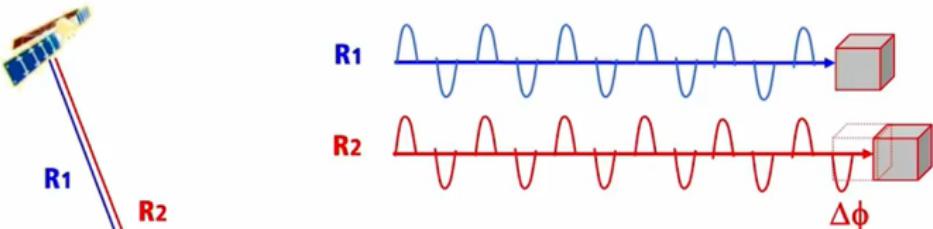


Phase (known modulo  $2\pi$ )

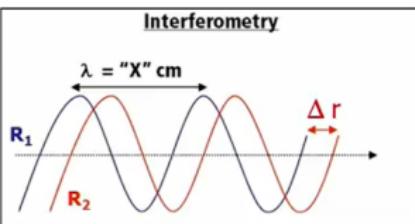
The phase is related to the **sensor-target distance**.



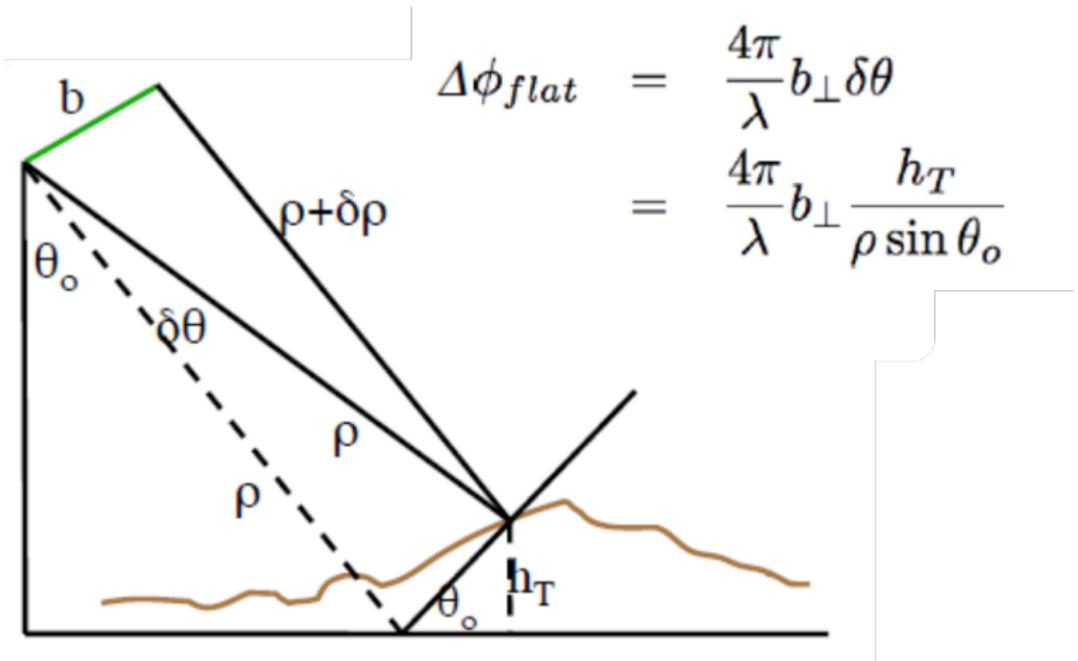
The *unit of length* used in InSAR is the wavelength:

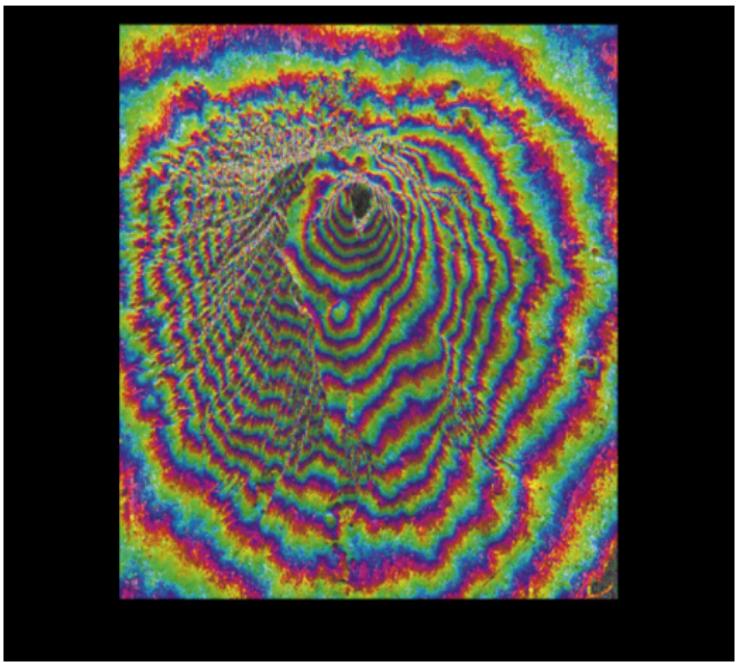


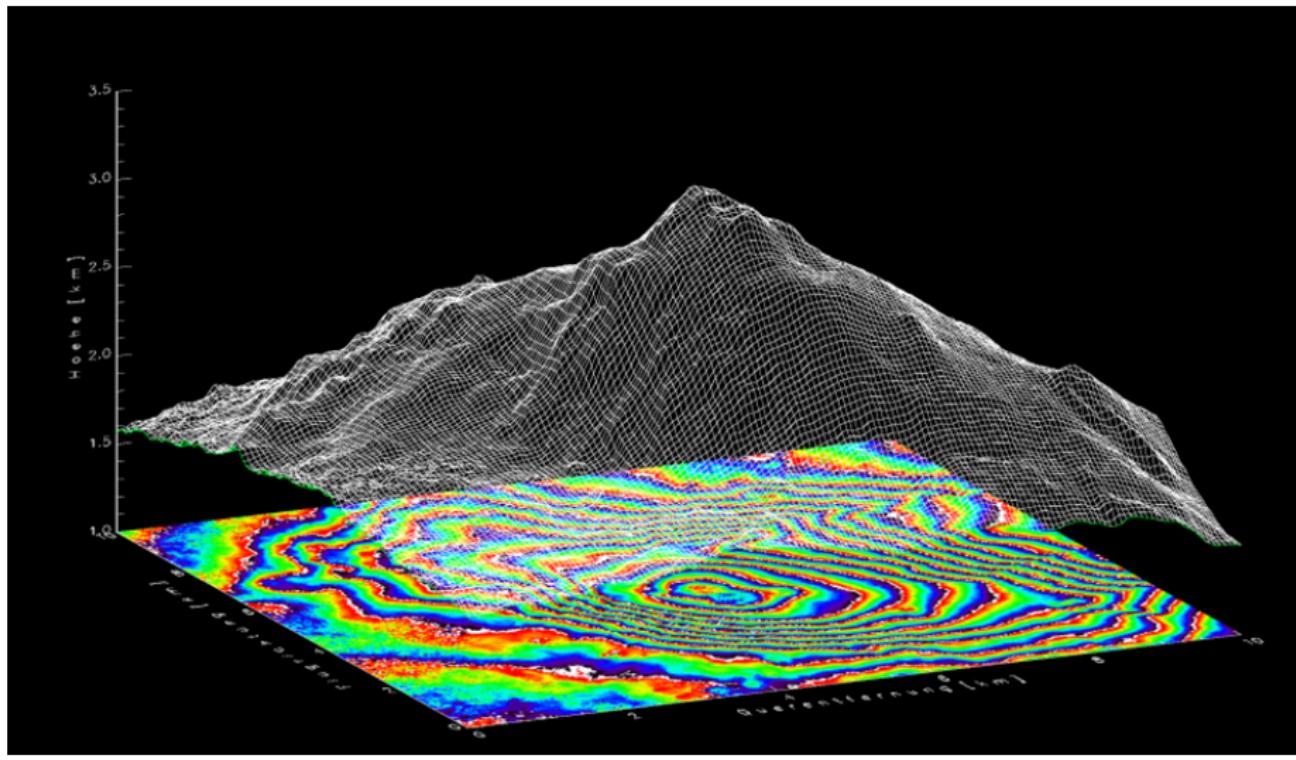
$$\Delta R = c \cdot \Delta \phi$$



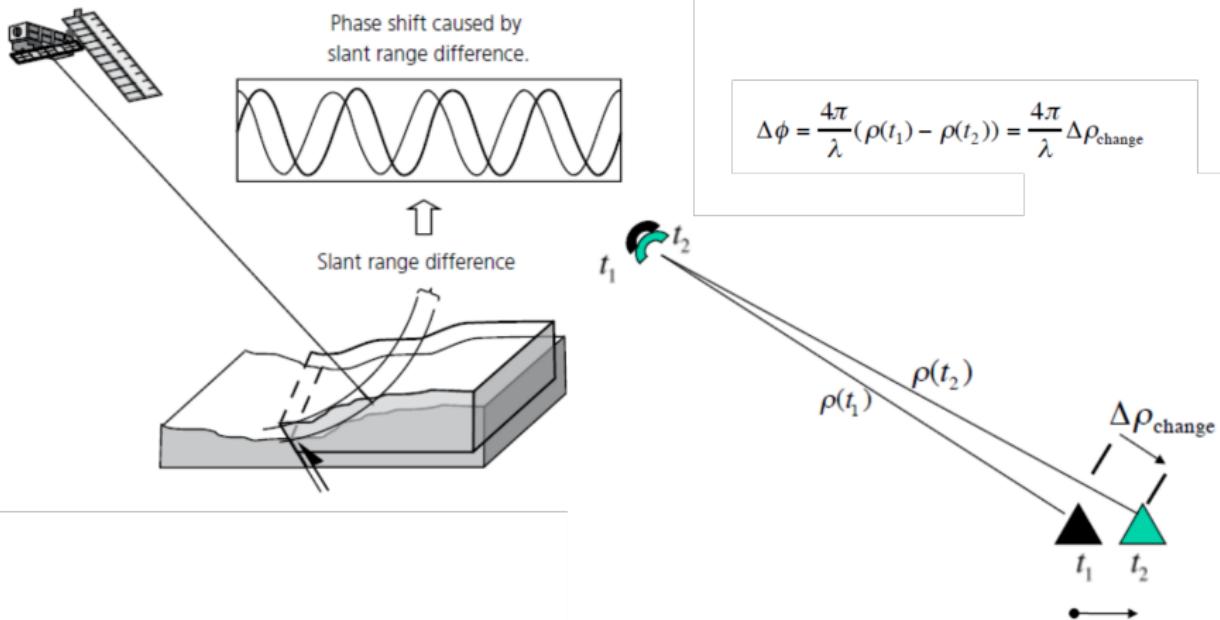
EAGE E-lecture: Satellite InSAR Data by Alessandro Ferretti

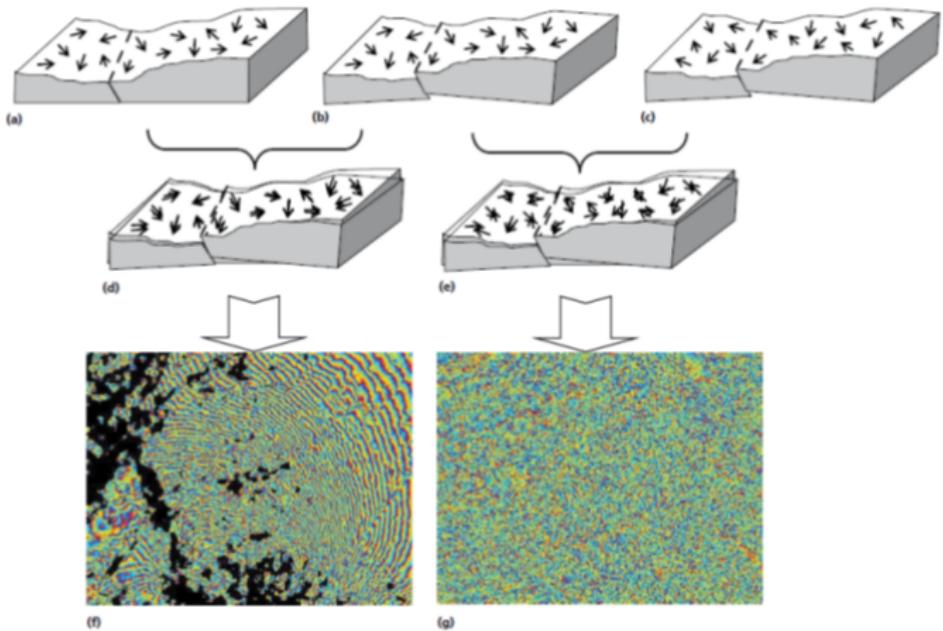




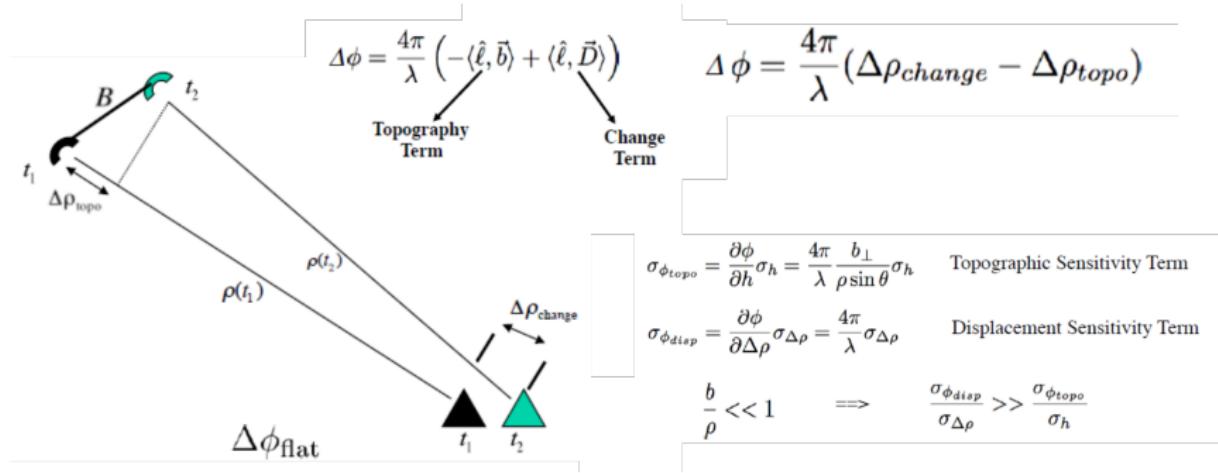


# DInSAR Differential Interferometric SAR





# InSAR vs DInSAR



# LIDAR

Longitud de onda: 55-1,700 nm

Precisión típica: +/- 1.5 cm → 800m-1000m (Manetti & Steinmann, 2007)

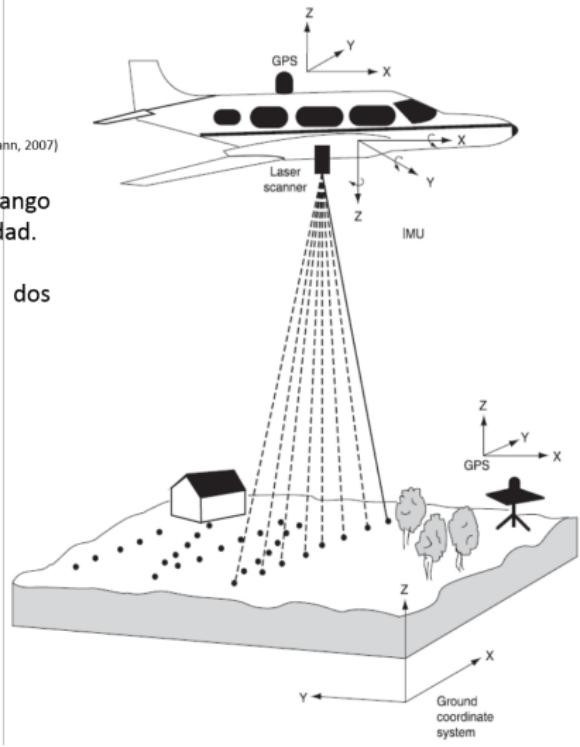
**Resolución de rango:** es la habilidad del buscador de rango en diferenciar dos objetos en la misma línea de visibilidad.

**Resolución angular:** es la habilidad en diferenciar dos objetos en líneas de visibilidad adyacentes.

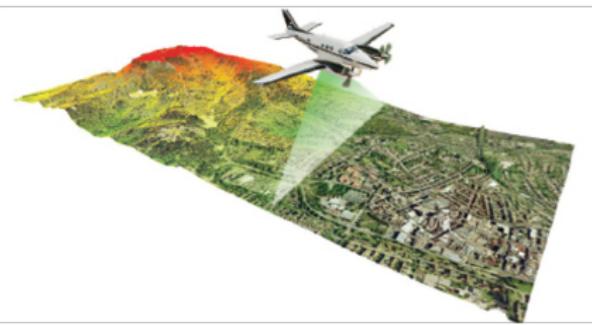
Densidad de puntos:

ALS: 0,5 – 100 pts/m<sup>2</sup>

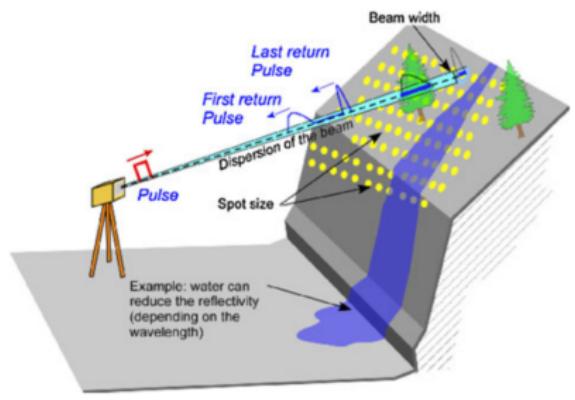
TLS: 50-10,000 pts/m<sup>2</sup>



# LIDAR



Airborne-based sensors



Ground-based sensors

Fuente: <http://learn.arcgis.com/en/arcgis-imagery-book/chapter4/>

# LIDAR

