

**Curso: "Alcances de la Teledetección Espacial"**



1º Simposio Internacional de Geomática Aplicada y Soluciones Geospaciales

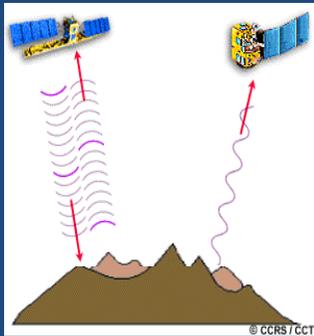
Daniela S. Marchionni  
INREMI (UNLP-CICBA)



4 al 5 de abril de 2017

Daniela S. Marchionni

**SISTEMAS DE TELEDETECCIÓN ACTIVA-PASIVA**



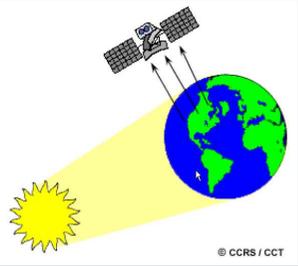
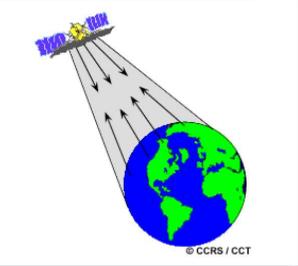
Los **sistemas activos** tienen su propia fuente de energía que es transmitida desde el sensor hacia la superficie y registran la radiación que es retrodispersada de regreso hacia ellos luego de interactuar con la superficie.

Los **sistemas pasivos** registran la radiación electromagnética que es reflejada (visible e infrarrojo cercano) o emitida (infrarrojo térmico) por la superficie de la tierra.

© CCRS / CCT

Daniela S. Marchionni

**SENSORES PASIVOS**      **SENSORES ACTIVOS**

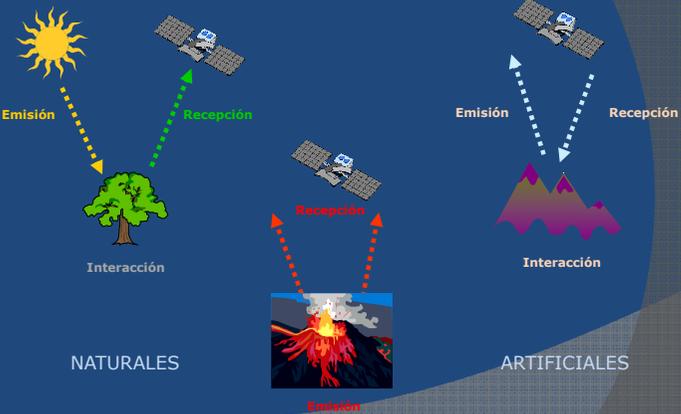



Los **sensores pasivos** sólo pueden adquirir imágenes órbita descendente cuando la tierra está iluminada. Los sensores pasivos que funcionan en el infrarrojo térmico son una excepción.

Los **sensores activos**, al contar con una fuente de energía propia, pueden adquirir imágenes tanto de día como de noche (en órbita descendente y ascendente).

Daniela S. Marchionni

**FUENTES DE LA RADIACIÓN**

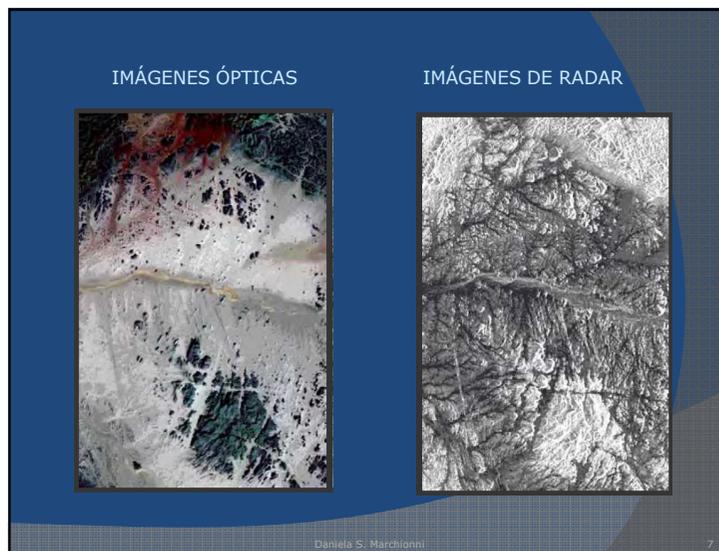
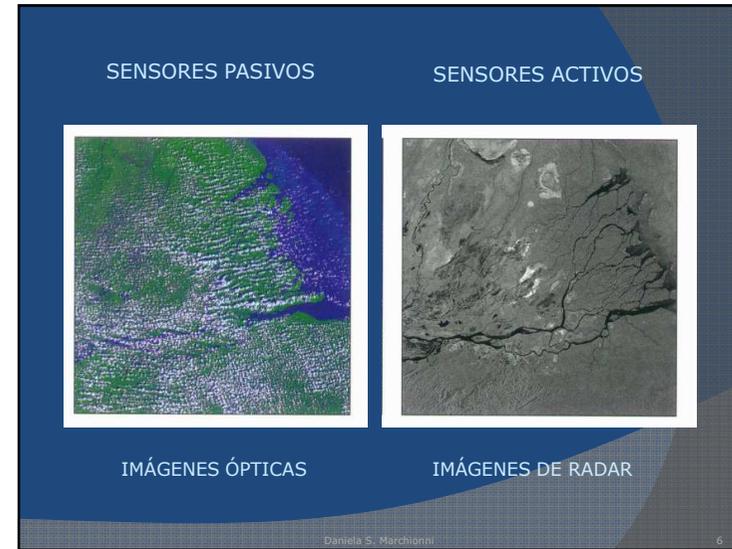
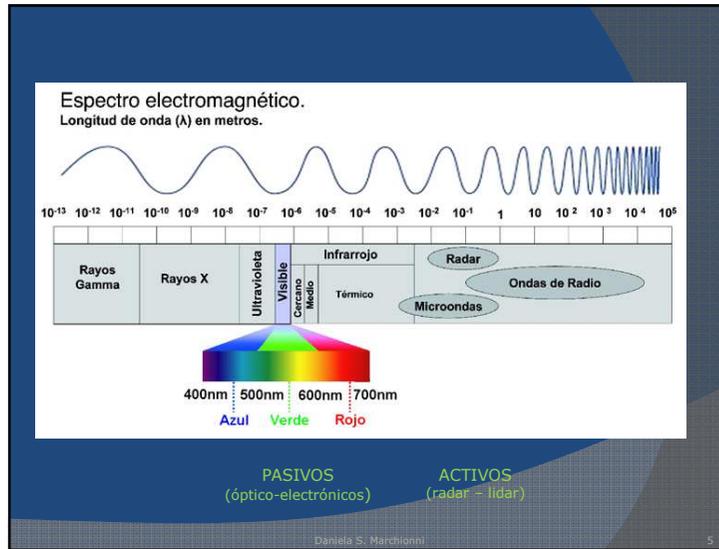


**NATURALES**      **ARTIFICIALES**

Emisión      Recepción      Emisión      Recepción

Interacción      Interacción

Daniela S. Marchionni



**INTERACCIONES**

**ÓPTICO**      **RADAR**

Las frecuencias ópticas interactúan con los materiales a nivel molecular y responden a su **composición química**.

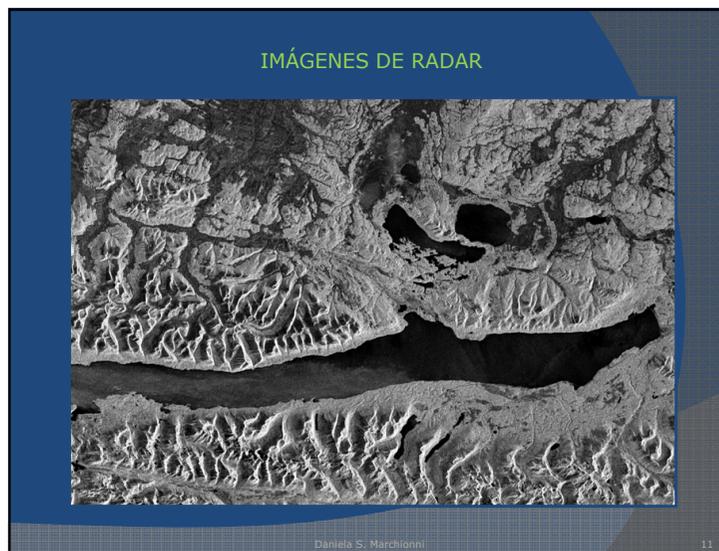
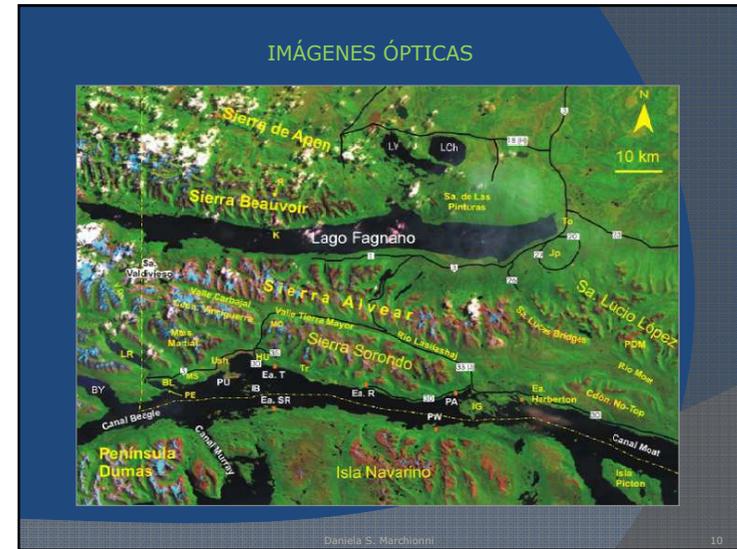
Las frecuencias de radar interactúan con los materiales a nivel estructural macroscópico y responden a las **propiedades eléctricas volumétricas** de los materiales a escalas cercanas a la longitud de onda del radar

Daniela S. Marchionni 8

### MAGNITUDES FÍSICAS MEDIDAS POR LOS SISTEMAS DE TELEDETECCIÓN

<p><b>TD. ÓPTICA</b></p> <p>Reflectancia</p> <p style="font-size: 2em;">↓</p> <p>Expresa la relación entre la energía incidente y la reflejada por una superficie (en %)</p>	<p><b>TD. RADAR</b></p> <p>Coefficiente de retrodispersión o "backscattering"</p> <p style="font-size: 2em;">↓</p> <p>Expresa la energía que es retrodispersada por la superficie terrestre (en dB)</p>
--	---

Daniela S. Marchionni 9



### Por qué usar imágenes de radar?

Observación nocturna

Penetración a través de las nubes

Información complementaria a la ofrecida por las imágenes ópticas

Penetración a través de algunos tipos de cobertura: suelos secos, hielos, vegetación, etc.

Daniela S. Marchionni 12

## FUNDAMENTOS DE LA TELEDETECCIÓN POR RADAR

Daniela S. Marchionni 13

### RADAR - Radio Detection And Ranging

The diagram illustrates the basic principle of radar. A transmitter (represented by a series of vertical bars) emits a pulse towards a target (a tree). The distance to the target is labeled as 'Range'. The pulse is shown as a curved arrow. The reflected signal is labeled as 'Echo'.

Daniela S. Marchionni 14

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

The top part of the slide shows a radar antenna scanning across a target area. The bottom part is a graph of 'Signal' versus 'Time (number of pulses)'. The graph shows a 'high energy output pulse' at the start, followed by a 'return from house' peak at approximately pulse 12, and a 'return from tree' peak at approximately pulse 18.

Daniela S. Marchionni 15

### DIMENSIONES

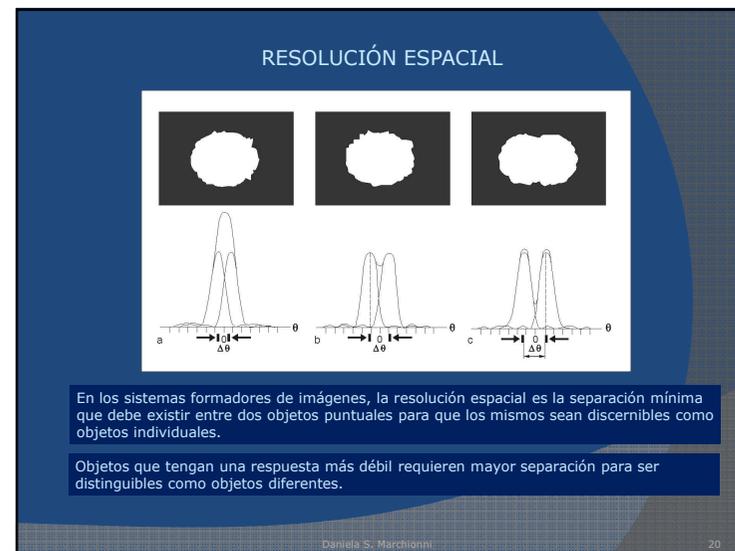
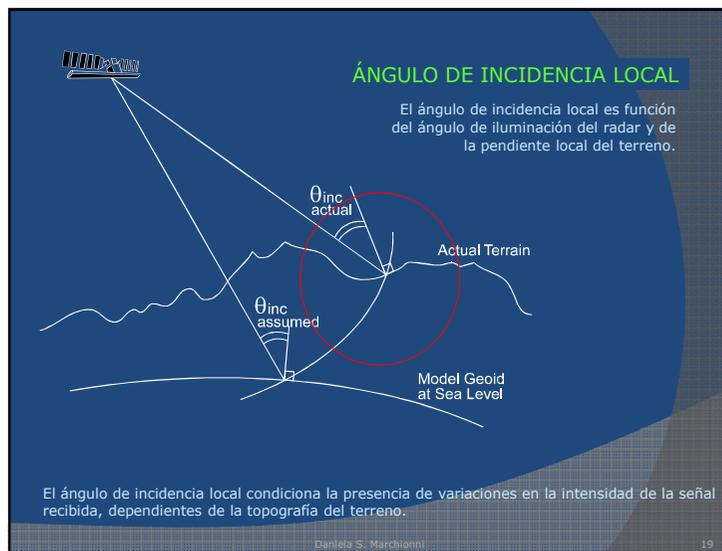
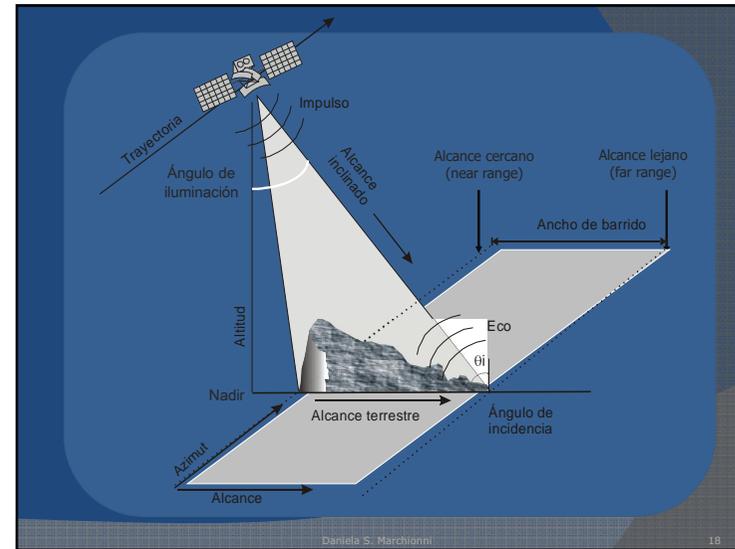
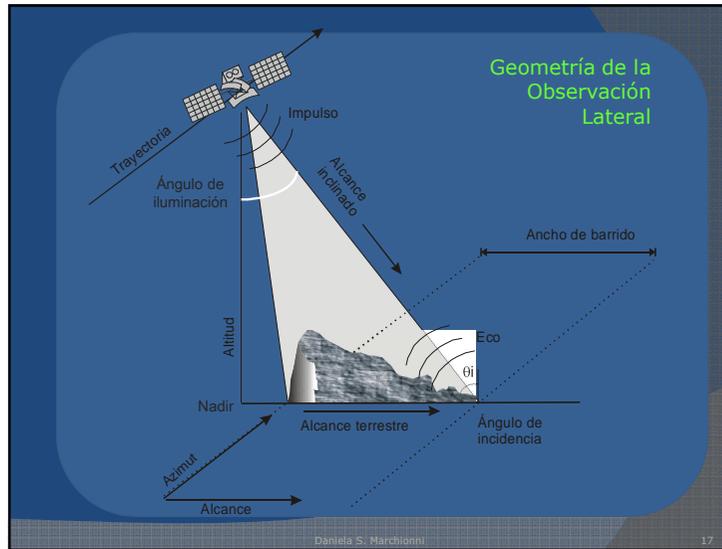
The diagram shows a radar antenna and a circular display. The display has a central point and a radial line. The radial line is labeled 'Alcance' (Range) and the angular line is labeled 'Azimut' (Azimuth).

- Alcance:** distancia al blanco
- Azimut:** dirección al blanco (medida angular)

↓

- Alcance:** dirección perpendicular a la trayectoria de vuelo  
Distancia al blanco
- Azimut:** dirección de la trayectoria de vuelo (medida lineal)

Daniela S. Marchionni 16



### RESOLUCIÓN RADAR

**En qué caso estos dos objetos se van a separar?**

Para poder distinguir los objetos, los ecos de la señal se deben recibir separadamente

Resolución SAR Tamaño del Píxel

Daniela S. Marchionni 21

**Resolución en Azimut:** en la dirección de la trayectoria del satélite  
**Resolución en Alcance:** en la dirección de transmisión de las ondas

Azimut Resolution      Range Resolution

Daniela S. Marchionni 22

### Resolución en Alcance

duración del impulso transmitido

Retorno del alcance =  $T_w$   
(en alcance inclinado)

Transmisión  $T_w$  (a  $\frac{1}{2}$  pico)

Retorno sin resolución  $T_d < T_w$

Retorno con resolución  $T_d > T_w$

Altura

Alcance

Daniela S. Marchionni 23

### Resolución en Azimut

ancho del haz emitido

Trayectoria del satélite

Resolución en azimut

Objeto cercano

Objeto lejano

Resolución en azimut

Daniela S. Marchionni 24

### RAR – Real Aperture Radar

- ✓ La resolución en **alcance** es del orden de los **metros**
- ✓ La resolución en **azimuth** del orden de los **km**

SLAR – Side Looking Airborne Radar

Daniela S. Marchionni 25

### Hacia una mejor resolución en AZIMUT

SAR – Synthetic Aperture Radar

Daniela S. Marchionni 26

En un radar de apertura real la resolución en azimuth está determinada por el ancho del haz de azimuth y es del orden de los km

Un radar de apertura sintética (SAR) usa un procesamiento de la señal para afinar la resolución en azimuth y llevarla a valores menores que el largo de la antena.

**Resolución en Azimut:**

- $\delta x = L_a / 2$
- $L_a$  = Longitud de la antena en la dirección del azimuth

Daniela S. Marchionni 27

### SAR – Synthetic Aperture Radar

**Apertura Sintética**

Ultima vez que el SAR "ilumina" el blanco

Orbita del satélite

Distancia recorrida por el SAR durante el tiempo que "ilumina" el blanco = Apertura Sintética

Primera vez que el SAR "ilumina" el blanco

Proyección de la órbita.

Nadir

Franja de Observación

La apertura sintética es la distancia recorrida por el satélite mientras la antena toma información acerca del objeto.

Daniela S. Marchionni 28

El sistema satelital se mueve con una velocidad  $V$  que depende de la velocidad del sistema, de la geometría y de la rotación de la tierra. El haz de radar se mueve a la velocidad de la luz. Las escalas de tiempo de estos dos mecanismos difieren en varios órdenes de magnitud y se los puede considerar independientes uno de otro. Estos ecos se ordenan uno al lado del otro de forma de generar una representación en dos dimensiones de la señal recibida:

- en rango o alcance (tiempo rápido)
- en azimut (tiempo lento).

**Formación de la Imagen**

Se utilizan técnicas sofisticadas de procesamiento de señales para enfocar la señal y obtener así una resolución adecuada.

Daniela S. Marchionni 29

### Celda de Resolución y Muestreo Digital

**Muestreo de Nyquist:** Por cada celda de resolución deben haber 2 muestras en alcance y 2 muestras en azimut. Esas muestras se denominan píxeles, por lo tanto hay 4 píxeles por cada celda de resolución.

Daniela S. Marchionni 30

## FORMACIÓN DE LA IMAGEN

Para los radares formadores de imágenes:

El tamaño de la "célula de resolución" es controlado por:

- 1) Duración del pulso de microondas (pulse duration)
- 2) Alcance terrestre (ground range)
- 3) Ancho del haz de radar (beamwidth)

1) y 2) determinan la resolución espacial en la dirección de propagación de la energía

➡ Resolución en Alcance (RANGE RESOLUTION)

3) Determina la resolución espacial en la dirección de la trayectoria del satélite

➡ Resolución en Azimut (AZIMUTH RESOLUTION)

Daniela S. Marchionni 31

## DISTORSIONES GEOMÉTRICAS DE LAS IMÁGENES SAR

Daniela S. Marchionni 32

### SENSORES ÓPTICOS

Miden los ángulos entre los elementos del terreno y representan esos ángulos como distancias en la imagen.

### SENSORES DE RADAR

Miden las distancias entre el radar y los elementos del terreno y representan esas distancias en la imagen.

© CCRS / CCT

Daniela S. Marchionni 33

### REPRESENTACIONES EN ALCANCE INCLINADO Y ALCANCE HORIZONTAL

© CCRS / CCT

Daniela S. Marchionni 34

### REPRESENTACIONES EN ALCANCE INCLINADO Y ALCANCE HORIZONTAL

© CCRS / CCT

Daniela S. Marchionni 35

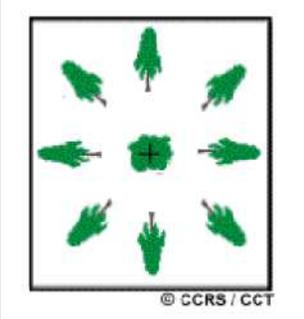
### DISTORSIONES DE ESCALA EN LA IMAGEN RESULTANTE

Slant Range Image

Ground Range Image

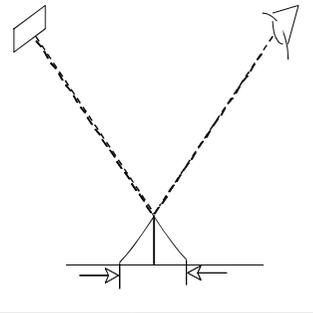
Daniela S. Marchionni 36

DESPLAZAMIENTO TOPOGRÁFICO  
SENSORES ÓPTICOS



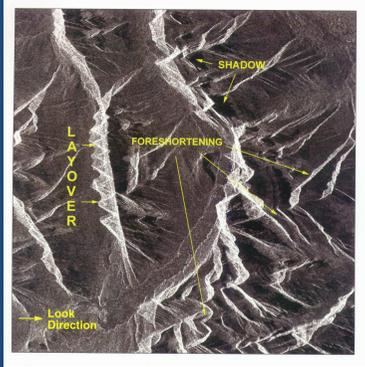
© CCRS / CCT

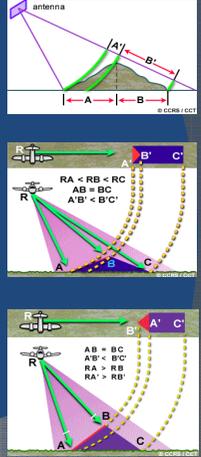
DESPLAZAMIENTO TOPOGRÁFICO  
SENSORES DE RADAR



Daniela S. Marchionni 37

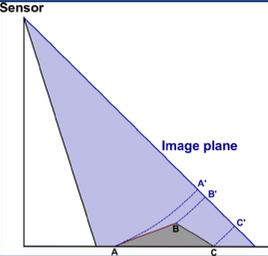
### DISTORSIONES GEOMÉTRICAS

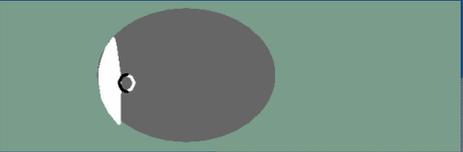




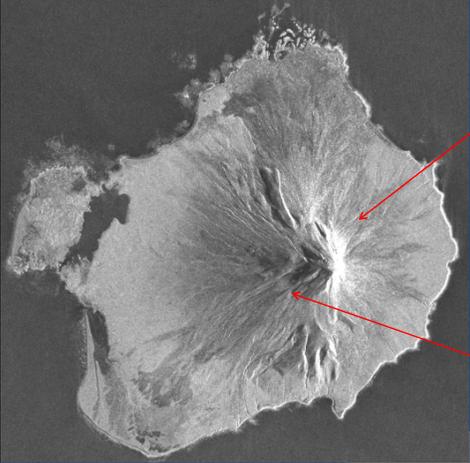
Daniela S. Marchionni 38

### ESCORZO DE RADAR (FORESHORTENING)





Daniela S. Marchionni 39



**Foreshortening**

Pendientes orientadas hacia el radar

Pendientes que se alejan de la observación del radar

Daniela S. Marchionni 40

Nature Resources Canada / Ressources naturelles Canada  
Geomatics Canada / Géomatique Canada

### EXAMPLE OF FORESHORTENING

Comparison of Geocoding with and without DEM (ERS-1) Charlevoix, Québec

Spatial Resolution: 30m  
Canada Centre for Remote Sensing / Centre canadien de télédétection  
© European Space Agency  
Canada

Daniela S. Marchionni 41

### INVERSIÓN DE RELIEVE (LAYOVER)

Sensor  
Image plane  
A B C  
B' A' C'

Daniela S. Marchionni 42

### Layover

Pasadena  
L-band SIR-C (HH)  
July 20, 1995  
look direction

Daniela S. Marchionni 43

### Layover

Layover

Daniela S. Marchionni 44

### SOMBRA DE RADAR (SHADOWING)

Daniela S. Marchionni 45

1 = Shadow area not imaged  
2 = Radar shadow on image

Example of radar shadow effects under large incidence angle (>45°) illumination.

Daniela S. Marchionni 46

Shadow

Shuttle Imaging Radar (SIR-C) Image of Maui

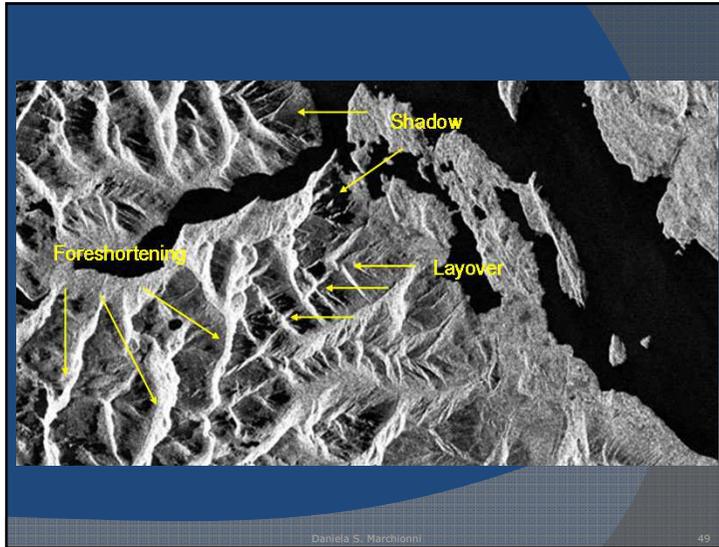
Daniela S. Marchionni 47

### Desplazamiento de Relieve en Función del Ángulo de Incidencia Local

Todas estas distorsiones geométricas se relacionan con el ángulo de incidencia local y tienen efectos sobre la radiometría de las imágenes.

Layover	Foreshortening	Shadow
0°		90°
Local incidence angle		

Daniela S. Marchionni 48



Daniela S. Marchionni

49



Daniela S. Marchionni

50

De los datos a la información ...

The diagram shows a radar antenna on a satellite platform emitting a 'Pulse' of 'Energía electromagnética' towards a forest. The signal is reflected back as 'Backscatter'. The forest is represented by several stylized tree icons.

- La información acerca de las propiedades físicas del medio está contenida en las imágenes SAR, como resultado de la interacción entre la energía electromagnética y el medio.
- El SAR mide parámetros que cuantifican cómo el medio observado ha dispersado la energía electromagnética.

Daniela S. Marchionni

51

**Ecuación fundamental del Radar**

La relación fundamental entre las características del radar, el blanco y la señal recibida está dada por **la ecuación del radar**. Esta ecuación expresa la relación entre potencia transmitida ( $P_t$ ) y potencia recibida ( $P_r$ ).

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \sigma$$

**$P_r$** : potencia retrodispersada  
 **$P_t$** : potencia transmitida por el sensor  
 **$G$** : factor de ganancia de la antena  
 **$R$** : distancia entre el sensor y la superficie  
 **$\sigma$** : sección eficaz de retrodispersión

La potencia que recibe la antena (y que es la magnitud directamente medida por el sensor) está relacionada con el **coeficiente de retrodispersión o backscattering** (magnitud física que contiene las propiedades del blanco). El factor  $\sigma$  es complejo y depende de varios factores: rugosidad del material, condiciones dieléctricas, pendiente y orientación del terreno respecto del haz emitido, etc.

Daniela S. Marchionni

52

Qué mide un sensor de microondas activas ?

Medición directa:  
Intensidad de la radiación retrodispersada

↓  
Potencia

↓  
Amplitud

Potencia $\sigma^o$	Amplitud $\sigma^v$	Decibeles $\sigma^{dB}$
$\sigma^o$	$\sqrt{\sigma^o}$	$10 \log \sigma^o$
$10^{-4} - 1.5$	$10^{-4} - 1.2$	$-80\text{dB} - 1.7\text{dB}$

Daniela S. Marchionni 53

Magnitudes. Distribuciones estadísticas.

Potencia

Amplitud

Decibeles

Daniela S. Marchionni 54

Parámetros que pueden derivarse de los ND de las imágenes de radar

- $\beta^o$  **Brillantez del Radar o Radar Brightness:** es la reflectividad promedio o retrodispersión difusa promedio del radar por unidad de superficie en la dirección del alcance inclinado (dB).
- $\sigma^o$  **Coefficiente de Retrodispersión o Reflectividad Radar:** relaciona la energía retrodispersada con la recibida por unidad de área en la dirección del alcance terrestre (dB)
- $\gamma^o$  **Brillantez corregida:** es la retrodispersión difusa por unidad de superficie del frente de onda incidente, perpendicular a la dirección del alcance del radar (dB).  
Tiene en cuenta los ángulos de incidencia locales (DEM).

Daniela S. Marchionni 55

Relaciones entre los Parámetros de Retrodispersión

$\sigma_{jk}^o = \beta_{jk}^o + 10 * \log_{10} [\text{sen}(\theta_j)]$

$\gamma_{jk}^o = \beta_{jk}^o + 10 * \log_{10} [\tan(\theta_j)]$

$\sigma_{jk}^o =$  Coeficiente de retrodispersión

$\beta_{jk}^o =$  Brillantez de la señal de radar

$\gamma_{jk}^o =$  Brillantez corregida de radar

$j =$  muestra en la dirección del alcance

$k =$  muestra en la dirección del azimut

$\theta_j =$  ángulo de incidencia

$dz = \frac{dR}{\tan \theta_j}$

$\frac{dx}{dR} = \text{sen} \theta_j$

Daniela S. Marchionni 56

## CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE MICROONDAS

Daniela S. Marchionni 57

## ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Visible: 400 nm, 700 nm  
 Infrared: Near (1 μm), Middle (3 μm), Thermal (7 μm, 14 μm)  
 Microwave: 0.75 cm, 2.5 cm, 4 cm, 8 cm, 15 cm, 30 cm

Legend:  
**X:** COSMO SkyMed, Terra SAR-X  
**C:** ERS-1 y 2, RADARSAT-1 y 2, ENVISAT Asar  
**L:** JERS-1, ALOS Palsar, SAOCOM

La profundidad de penetración aumenta con la longitud de onda. →

Daniela S. Marchionni 58

## BANDAS DE RADAR

Bandas	Longitud de onda	Frecuencias	Plataformas espaciales
Banda X	2.4 a 3.75 cm	12.5 a 8 GHz	SIR-C, Convair 580 (CCRS), COSMO SkyMed, TerraSAR-X
Banda C	3.75 a 7.5 cm	8 a 4 GHz	SIR-C, ERS 1-2, RADARSAT 1-2, Convair 580, ENVISAT-ASAR
Banda S	7.5 a 15 cm	4 a 2 GHz	ALMAZ (URSS)
Banda L	15 a 30 cm	2 a 1 GHz	SEASAT, SIR-A, SIR-B, SIR-C y JERS-1, ALOS-PALSAR, SAOCOM
Banda P	30 a 100 cm	1 a 0.3 GHz	Air SAR de JPL (NASA)

Daniela S. Marchionni 59

## Tamaño Relativo de las Longitudes de Onda

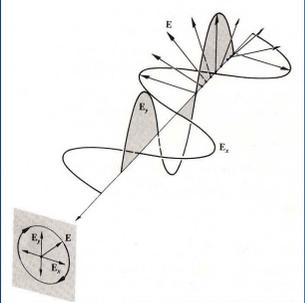
K = 1 cm  
 X = 3 cm  
 C = 5,6 cm  
 S = 10 cm  
 L = 23 cm  
 P = 75 cm

La posibilidad de penetrar a través de las nubes, precipitaciones o de capas superficiales de suelo seco aumenta con la longitud de onda

Daniela S. Marchionni 60

### POLARIZACIÓN

Se refiere a la orientación del vector del campo eléctrico en la señal emitida por el radar. La dirección con que la señal está polarizada influye en el flujo de retorno.

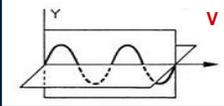


**Polarización elíptica**

**Polarización plana**



horizontal



vertical

Daniela S. Marchionni 61

HORIZONTAL

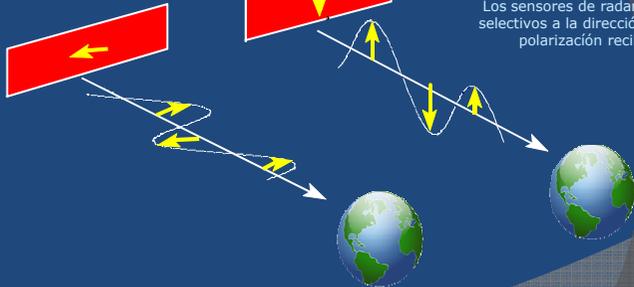


VERTICAL



Los sistemas de radar están preparados para emitir y recibir energía polarizada plana en distintas direcciones (vertical u horizontal).

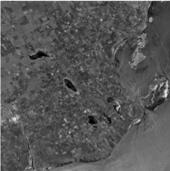
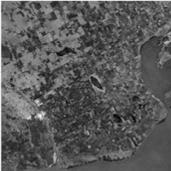
Los sensores de radar son selectivos a la dirección de polarización recibida.

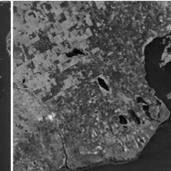


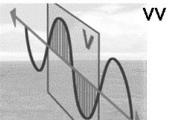
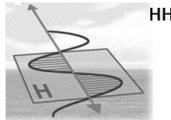
Daniela S. Marchionni 62

**POLARIZACIÓN PARALELA (CO POL)**

**POLARIZACIÓN CRUZADA (CROSS POL)**





Daniela S. Marchionni 63

### CONFIGURACIONES DE POLARIZACIÓN

Un sistema de radar puede tener varios niveles de complejidad en las características de polarización:

- Polarización simple** - HH or VV or HV or VH (uno de cuatro)
- Polarización dual** - HH y HV, VV y VH, o HH y VV (dos de tres)
- Polarización cuádruple** - HH, VV, HV, y VH (**Quad-Pol SAR**)

Un **Radar Polarimétrico (Polarimetric SAR)** puede modelar polarizaciones de 360°. Son datos muy complejos que requieren softwares especiales.

Daniela S. Marchionni 64

### FASE Y DIFERENCIA DE FASE

Fase: indica la posición relativa de los puntos de la onda respecto al origen

Diferencia de Fase: es la porción de longitud de onda que le falta a un tren de ondas para alcanzar a otro.

Daniela S. Marchionni 65

### SISTEMAS COHERENTES: Interferencia de Ondas

La interferencia se produce cuando dos o más rayos de luz coherente se reúnen habiendo acumulado una diferencia de fase relativa.

El fenómeno de interferencia es propio de los procesos físicos ondulatorios y se puede comprender realizando la suma vectorial de las ondas

Diferencia de fase relativa

**Ondas coherentes:** dos o más ondas se dicen coherentes si vibran con la misma frecuencia, tienen la misma longitud de onda y oscilan en el mismo plano (tienen la misma polarización).

Daniela S. Marchionni 66

### INTERFERENCIA DE ONDAS

	Destructiva	Parcial	Constructiva
+			
=			

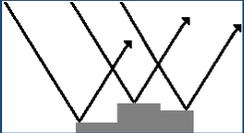
Daniela S. Marchionni 67

SENSORES PASIVOS	SENSORES ACTIVOS
La fuente de energía (sol) es una fuente <b>incoherente</b> y <b>no polarizada</b> .	La fuente de energía (Radar, Lidar) es una fuente <b>coherente</b> y <b>polarizada</b> .
<p>Incoherente</p>	<p>Coherente</p>
Diferencia de Fase no-constante	Diferencia de Fase constante

Daniela S. Marchionni 68

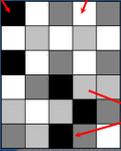
### Moteado de Radar o "Speckle"

El fenómeno de speckle es básicamente interferencia a gran escala. Al ser los objetos reflectores superficies irregulares, los rayos emitidos por el radar regresan al sensor habiendo recorrido distintas distancias y habiendo acumulado así diferencias de fase.



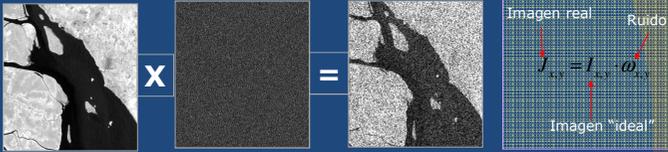
Dependiendo del valor de esta diferencia de fase los rayos interferirán constructiva, parcial o destructivamente. En una zona homogénea dará como resultado un efecto ficticio de moteado donde uno esperaría obtener un valor constante de backscattering.

**Destructiva** **Constructiva** **Parcial**



Daniela S. Marchionni 69

Se puede describir al speckle como un ruido multiplicativo, es decir un coeficiente aleatorio que multiplica a cada píxel de la "imagen ideal".



$J_{x,y} = I_{x,y} \cdot \omega_{x,y}$

Una propiedad fundamental del speckle es que tiene media 1 y por lo tanto tenemos:

$$\langle J \rangle = \langle I \rangle \langle \omega \rangle = \langle I \rangle$$

Es decir: la media de la imagen real es la misma que la de la ideal.

El ruido speckle es inherente a todo sistema que trabaje con luz coherente y que no es debido a deficiencias o imperfecciones tecnológicas en el dispositivo radar.

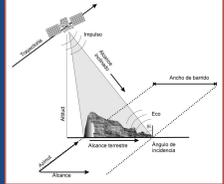
Daniela S. Marchionni 70

## INTERACCIONES DE LAS MICROONDAS - INTERPRETACIÓN

Daniela S. Marchionni 71

### PROPIEDADES DEL HAZ DE RADAR

- Características de la señal
  - Frecuencia
  - Polarización
- Geometría de la observación
  - Angulo de incidencia
  - Dirección de visión

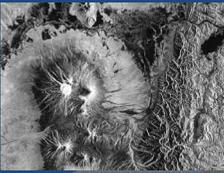


### CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE

- Propiedades eléctricas
  - Contenido de humedad
  - Rugosidad superficial
- Morfología del terreno

**TONO & TEXTURA**

**PATRONES**



Daniela S. Marchionni 72

**DISTINTAS FORMAS DE RETRO-DISPERSIÓN DE LAS MICROONDAS**

**a) Dispersión de superficie**

Reflexión difusa    Reflexión especular    Reflexión efecto esquina  
Suelo seco    Suelo húmedo    Suelo inundado

Daniela S. Marchionni 73

**b) Dispersión de volumen**

La **dispersión en volumen** es el resultado de muchas interacciones entre la señal de radar y un medio homogéneo.

La señal retrodispersada depende de:

- la densidad del medio
- la geometría de los elementos dispersores
- las propiedades dieléctricas de los elementos

Daniela S. Marchionni 74

Ejemplos de dispersión de volumen:  
vegetación densa, nieve seca y suelo muy seco.

Daniela S. Marchionni 75

**MECANISMOS DE INTERACCIÓN & VARIACIONES DE TONO**

El **tono** de la imagen es proporcional a la intensidad de la señal de las microondas: **retrodispersión**

Daniela S. Marchionni 76

### PROPIEDADES DEL HAZ DE RADAR

Longitud de Onda  
Frecuencia

Daniela S. Marchionni 77

La frecuencia/longitud de onda de la señal de las microondas determina:

- la retrodispersión radar
- la penetración de la señal

Este parámetro actúa de dos maneras distintas:

- la constante dieléctrica compleja de los volúmenes depende de la frecuencia
- la retrodispersión se relaciona con las longitudes de onda

Interacciones primarias de las distintas bandas de radar con el bosque

① DIRECT BACKSCATTER FROM PLANTS @ 3 cm (X-Band)

② DIRECT BACKSCATTER FROM SOIL @ 24 cm (L-Band)

③ PLANT/SOIL MULTIPLE SCATTER @ 6 cm (C-Band)

Daniela S. Marchionni 78

L-band  
23.5 cm

a.

C-band  
5.8 cm

b.

X-band  
3 cm

c.

Capacidad de penetración de la señal en bosques

Daniela S. Marchionni 79

surface scattering from the top of the canopy

volume scattering

surface and volume scattering from the ground

What are the scatterers in the volume scattering?

Austrian pine

X band  
 $\lambda = 3$  cm

L band  
 $\lambda = 27$  cm

P band  
 $\lambda = 70$  cm

VHF  
 $\lambda = 3$  m

The main scatterers in a canopy are the elements having dimension of the order of the wavelength

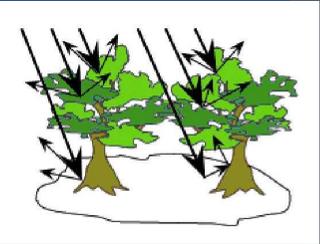
Thuy Le Toan

Daniela S. Marchionni 80

### CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE LA SEÑAL

La **capacidad de penetración** está determinada por el tamaño de los elementos dispersores con respecto a la longitud de onda y la cantidad de elementos por unidad de volumen.

La penetración efectiva dependerá de la frecuencia de la señal pero también de la densidad (toneladas por ha) y tipo de vegetación.



Resultados experimentales muestran que la banda **C (5 cm)** de longitud de onda puede penetrar alrededor de un **30%** en un bosque boreal, mientras que la banda **L (23 cm)** un **60%** y la banda **P (69 cm)** puede llegar hasta el suelo del bosque.

Daniela S. Marchionni 81

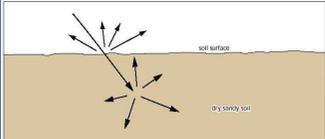
### PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE LA SEÑAL

La "**profundidad de penetración**" es la distancia de propagación a la cual la intensidad de la onda es atenuada a un 37% de su energía original en superficie. La profundidad de penetración de la señal va a depender del contenido de humedad, dado que la señal será atenuada con altos contenidos de humedad.

Para suelos de conductividad moderada, esta dimensión es de aproximadamente **5 longitudes de onda**. Para suelos perfectamente secos, con conductividad eléctrica cercana a cero, esta profundidad puede ser de más de **100 longitudes de onda**.

**Regla general:**  $A > \text{longitud de onda} > \text{profundidad de penetración}$

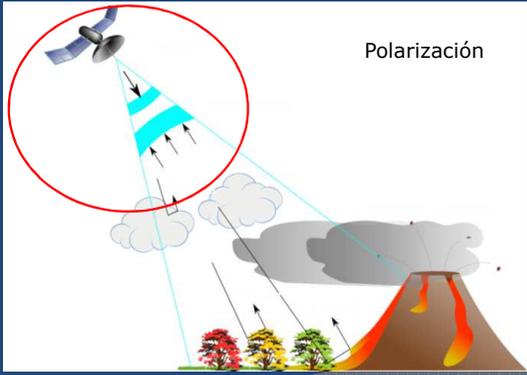
Cuando hay discontinuidades en los materiales y cambios en el valor de la constante dieléctrica, parte de la energía es retrodispersada en la discontinuidad fuera de la dirección de propagación por lo que disminuye la profundidad de penetración.



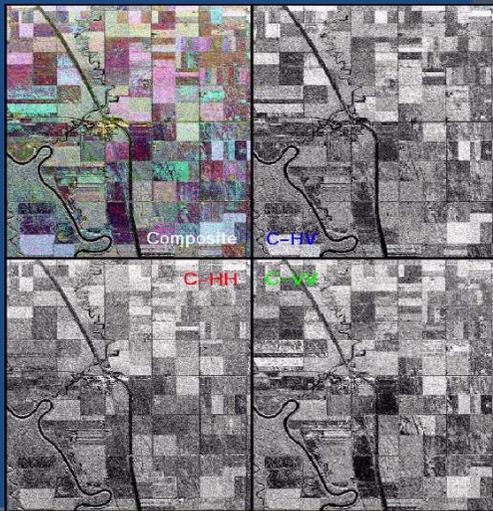
Daniela S. Marchionni 82

### PROPIEDADES DEL HAZ DE RADAR

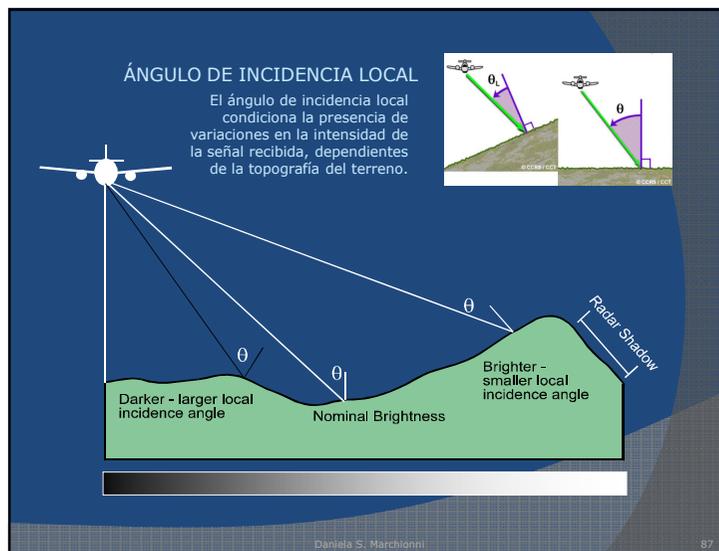
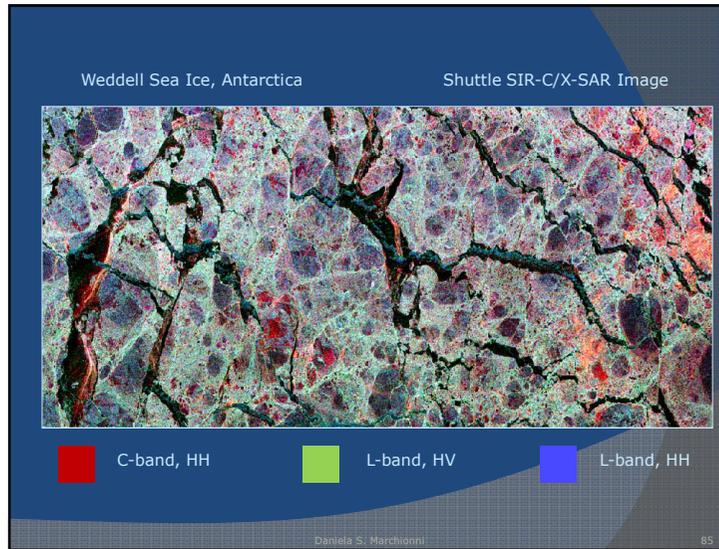
**Polarización**



Daniela S. Marchionni 83



Daniela S. Marchionni 84



El ángulo de incidencia del haz de radar (ángulo entre la dirección del haz y la vertical) varía en la dirección perpendicular a la trayectoria del satélite, aumentando el ángulo de incidencia a medida que nos alejamos del sistema sensor. En los radares a bordo de satélites **esta variación es muy leve** en relación con los aeroportados.

$< \theta$      $> \theta$   
 Ángulo de Incidencia  
 alcance cercano    alcance lejano

A ángulos de incidencia mayores (observación más oblicua) menor retrodispersión.

Sin embargo: objetos que aparecen como "lisos" en el rango cercano pueden aparecer como "rugosos" en el rango lejano.

West Coast of Vancouver. CCRS RADARSAT SCN Near. Aug. 3 1996

Daniela S. Marchionni 88

### PROPIEDADES DEL HAZ DE RADAR

Dirección de Observación

Daniela S. Marchionni 89

### DIRECCIÓN DE LA ÓRBITA

### Left- and Right-Looking Antenna

Left- and Right-looking modes are both routine. Spacecraft is able to operate in either direction. Nominally, 10 minutes required for this manoeuvre.

El radar puede observar una misma superficie geográfica desde lados opuestos cambiando la dirección de mirada del sensor, con consecuencias en la geometría de la iluminación y en la visualización de los rasgos lineales que tengan una orientación preferencial.

Daniela S. Marchionni 90

radar sensor look direction

agricultural fields with identical row crops

radar image

row direction perpendicular to radar look direction

row direction parallel to radar look direction

Daniela S. Marchionni 91

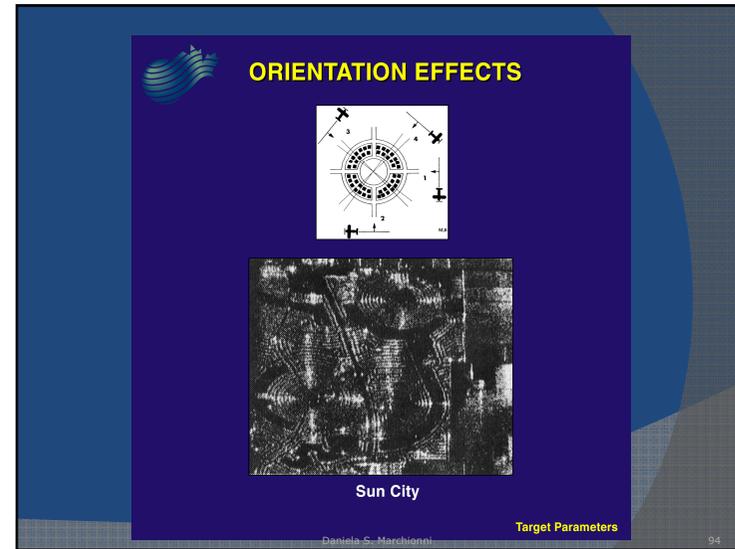
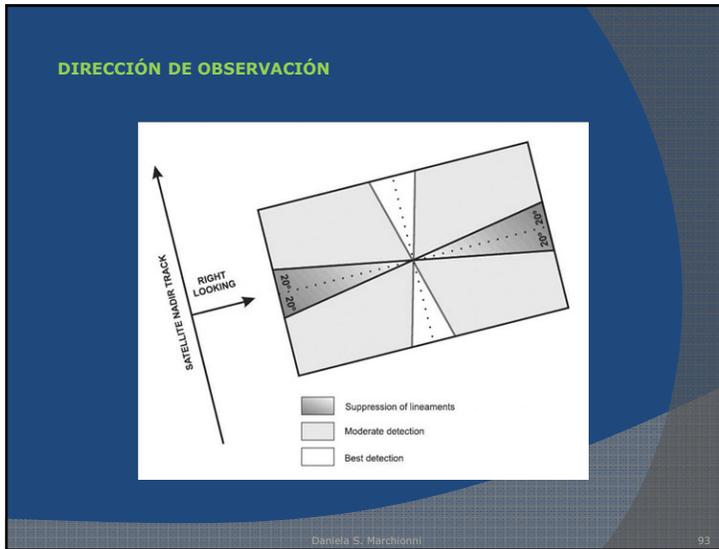
### DIRECCIÓN DE OBSERVACIÓN Y ÁNGULO DE ASPECTO

"look direction"

El **ángulo de aspecto** describe la orientación relativa del haz de radar transmitido con respecto a la dirección de las características lineales del terreno.

Puede influir de forma importante en la apariencia de las imágenes de radar, sobre todo cuando las características de la escena tienen una estructura lineal organizada.

Daniela S. Marchionni 92



### PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Las **características eléctricas** de los materiales condicionan la señal de retorno hacia el radar. Una de las medidas de este comportamiento es la **constante dieléctrica**, parámetro físico que influye en la capacidad de los materiales de absorber, reflejar y transmitir la energía de microondas.

La constante dieléctrica es una magnitud compleja

$$\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$$

El valor de la constante dieléctrica  $\epsilon$  influye directamente en la señal retrodispersada por el blanco.

Los materiales con una alta constante dieléctrica interactúan con mucha fuerza con las microondas y tendrán una alta señal de retorno por lo cual aparecerán más brillantes en la imagen.

En general, la constante dieléctrica de los materiales como rocas, arenas, suelos secos, vegetación muerta es baja mientras que la del agua, la sal, los metales y la vegetación viva es muy alta.

Por lo cual un aumento en la proporción de estos materiales por encima o dentro de algún medio, significa un aumento de la retrodispersión.

Daniela S. Marchionni 96

## Dielectric Properties

Dielectric Constant =  $\epsilon$

**Dry Surface**

Air  $\epsilon = 1$

Dry Soil & Vegetation  $\epsilon = 1.4 - 3$

**Wet Surface**

Air  $\epsilon = 1$

Wet Soil & Vegetation  $\epsilon = 34 - 80$

Daniela S. Marchionni 97

## CONTENIDO DE HUMEDAD

La presencia de humedad altera significativamente la señal de retorno dado que aumenta la constante dieléctrica.

En consecuencia, un cambio en esta propiedad influye en la forma en que un material aparece en las imágenes radar.

La constante dieléctrica de elementos del terreno secos (suelo seco) es en general **menor a 5**.

La constante dieléctrica del agua es de **cerca de 80**.

Agregar agua (=80) a algo seco (<5) aumenta significativamente la constante dieléctrica.

Valores altos de la constante dieléctrica (más humedad) generan una mayor retrodispersión.

Daniela S. Marchionni 98

Respuesta al contenido de humedad en conglomerados:  
Puede tratarse de la humedad retenida en el suelo o en la cubierta vegetal

Imagen adquirida luego de una lluvia

**Enhanced Backscatter From Arboreal Canopy Over Water or Saturated Soil**

Weaker Return

NON SATURATED SOIL, LOW REFLECTIVITY

Smaller Dielectric Constant

Stronger Return

SATURATED SOIL, WATER OVER SOIL, HIGH REFLECTIVITY

Larger Dielectric Constant

Los valores del coeficiente de backscattering puede cambiar hasta **10 dB** debido a la humedad del suelo.

Los valores del coeficiente de backscattering pueden variar hasta **15 dB** debido a la cobertura de vegetación.

Daniela S. Marchionni 99

## CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE

### Rugosidad Superficial

Daniela S. Marchionni 100

### Wavelength and Surface Roughness

$\lambda = 2 \text{ cm} \dots 25 \text{ cm}$

**rough** **smooth**

Daniela S. Marchionni 101

En general una superficie es considerada rugosa cuando tiene una variación en altura mayor que la mitad de la longitud de onda del radar.

Según el criterio de Rayleigh cuando:

$$S_h \geq (\lambda / 8) \cos \theta$$

$S_h$  = desviación típica de la altura de la superficie

$\lambda$  = longitud de onda de observación ←

$\theta$  = ángulo de incidencia ←

Este criterio indica que, a igual rugosidad del terreno, éste aparecerá como más liso para longitudes de onda mayores y/o ángulos de incidencia mayores (observación más oblicua).

La longitud de onda de la señal y el ángulo de incidencia determinan si una superficie es "vista" por el radar o no.

Daniela S. Marchionni 102

**Rugosidad Alta** **Rugosidad Baja**

La rugosidad de una superficie se define en términos de las variaciones estadísticas en la altura y ancho de las irregularidades de la superficie. Esto se puede expresar como el promedio de las longitudes en la escala vertical y horizontal y una función de distribución bi-dimensional que describa su variabilidad.

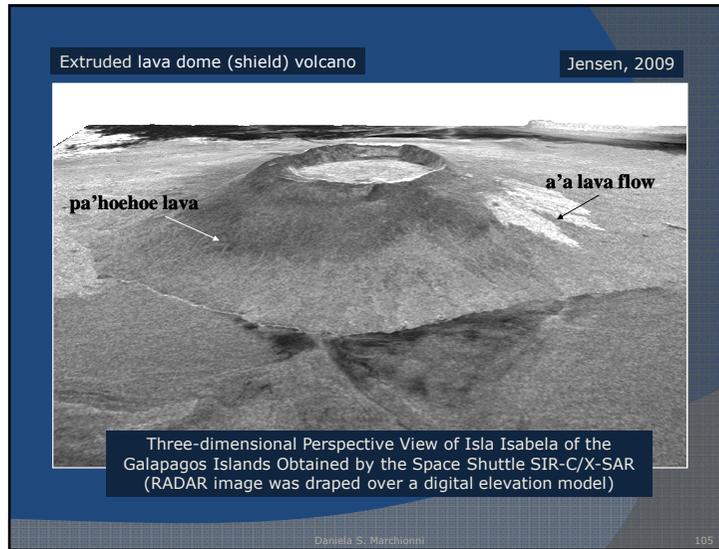
La escala de longitudes se normaliza por la  $\lambda$  del radar.

Daniela S. Marchionni 103

Jensen, 2009

This is an image showing part of Isla Isabela in the western Galapagos Islands., taken by the L-band radar in HH polarization from the SIR-C/X-SAR. The radar incidence angle is about 20°. This image of Alcedo and Sierra Negra volcanoes shows the rougher lava flows as bright features, while ash deposits and smooth pahoehoe lava flows appear dark.

Daniela S. Marchionni 104



Hay un mecanismo de dispersión que hace que objetos pequeños, aún menores a la célula de resolución que pueden aparecer como puntos muy brillantes en las imágenes de radar. Esto depende de la configuración geométrica de los objetos

Retornos muy intensos se producen a modo de "destello" desde superficies extensas que son "lisas" y están orientadas perpendicularmente a la dirección del haz de radar.

Cuando la geometría de la superficie es adecuada se producen procesos múltiples de dispersión coherente que llevan a retornos muy intensos.

Estos "reflectores" pueden ser muy útiles como puntos de referencia de las imágenes

Daniela S. Marchionni 107

Reflectores Angulares

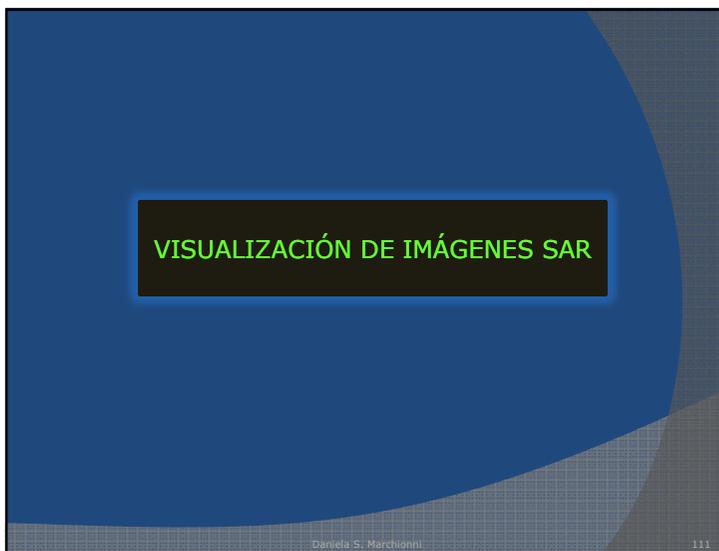
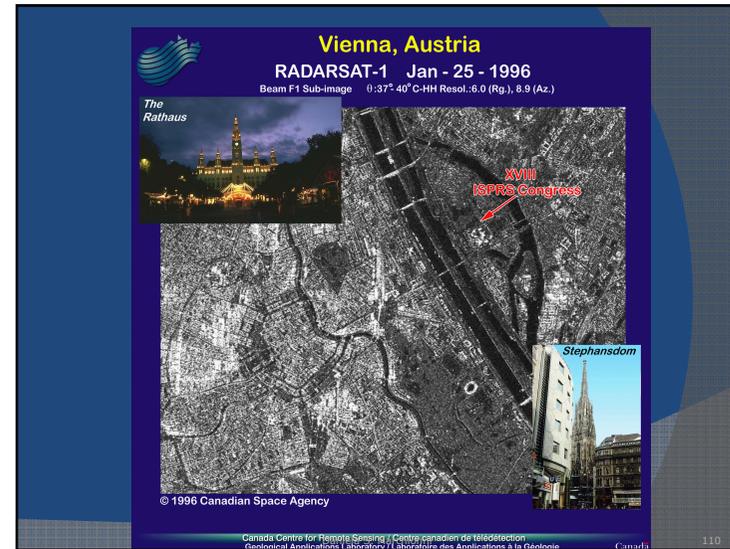
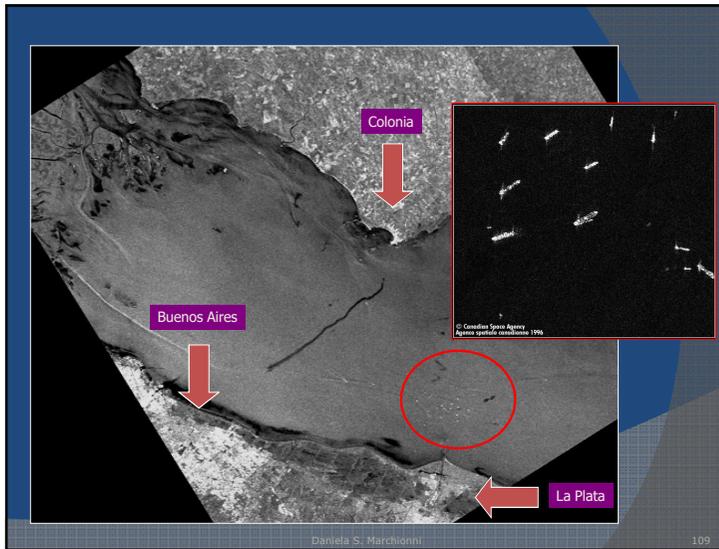
La presencia de dos o tres superficies lisas de reflexión especular perpendiculares entre sí constituyen **reflectores angulares** que causan reflexiones muy intensas. Los reflectores angulares pueden ser diedros o triedros. Se observa un tono muy brillante en la imagen de radar

Un reflector en esquina producido por dos superficies perpendiculares crea una fuerte señal retrodispersada denominada "doble rebote".

Dihedral

Trihedral

Daniela S. Marchionni 108



Cómo se visualiza una imagen radar?

**Imágenes Monocromáticas**

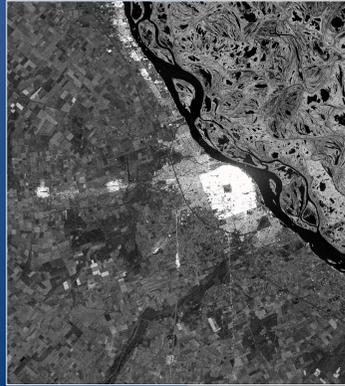
Retrodispersión

↓

Nivel Digital

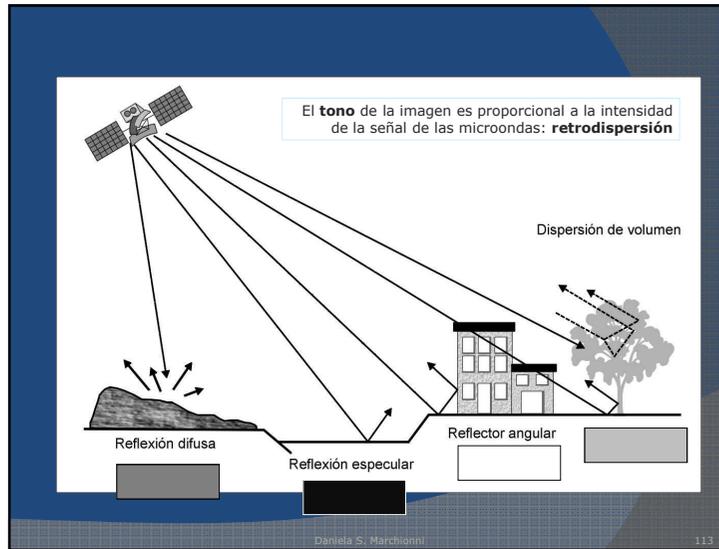
↓

Tono de gris



Las imágenes de radar son representadas en 16 bits: 65.536 niveles de gris posibles.

Daniela S. Marchionni 112



### PROPIEDADES DEL HAZ DE RADAR

Características de la señal  
Frecuencia  
Polarización

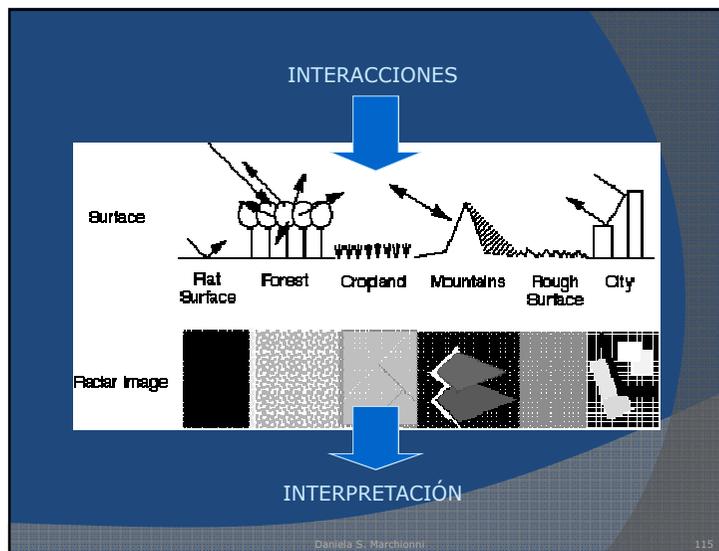
Geometría de la observación  
Angulo de incidencia  
Dirección de visión

### CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE

Propiedades eléctricas } **TONO & TEXTURA**  
Contenido de humedad }  
Rugosidad superficial }

Morfología del terreno } **PATRONES**

Daniela S. Marchionni 114



### INFORMACIÓN RADAR

Imagen Cosmo Skymed.  
Glaciar Perito Moreno (2010).

- Topografía local
- Rugosidad superficial
- Propiedades dieléctricas
- Contenido de humedad
- Geometría de los objetos

Daniela S. Marchionni 116