Módulo 2.8: Generalidades y estado de las tecnologías en desarrollo

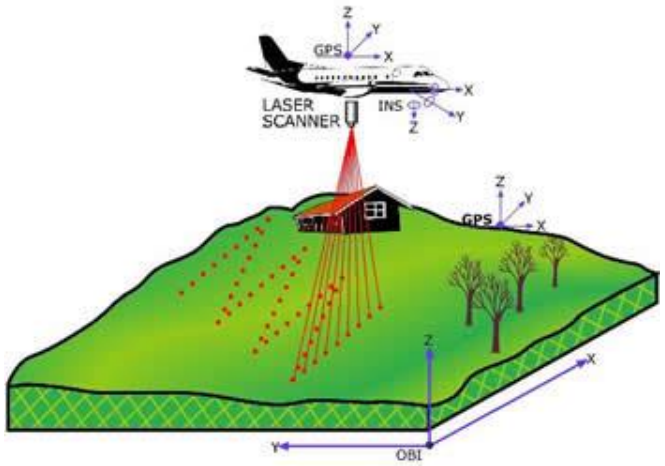
Autores del módulo:

Brice Mora, Wageningen University

Erika Romijn, Wageningen University

Al finalizar el curso, los participantes estarán en condiciones de:

- Mencionar y caracterizar las tecnologías de detección remota que se están desarrollando actualmente para medir y hacer el seguimiento de REDD+, además de su estado y avance a corto plazo.
- Describir las técnicas de medición usando datos LIDAR y RADAR.



Servicio Forestal de los Estados Unidos

V1, mayo de 2015

WAGENINGEN UR For quality of life

GOFC-GOLD Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics

FOREST CARBON PARTNERSHIP FACILITY

Licencia Creative Commons

Esquema de la conferencia

1. Función de las observaciones realizadas con la tecnología LIDAR para la caracterización forestal y experiencias con LIDAR para fines de seguimiento
2. El uso de RADAR para el seguimiento forestal

Esquema de la conferencia

1. **Función de las observaciones realizadas con la tecnología LIDAR para la caracterización forestal y experiencias con LIDAR para fines de seguimiento**
2. El uso de RADAR para el seguimiento forestal

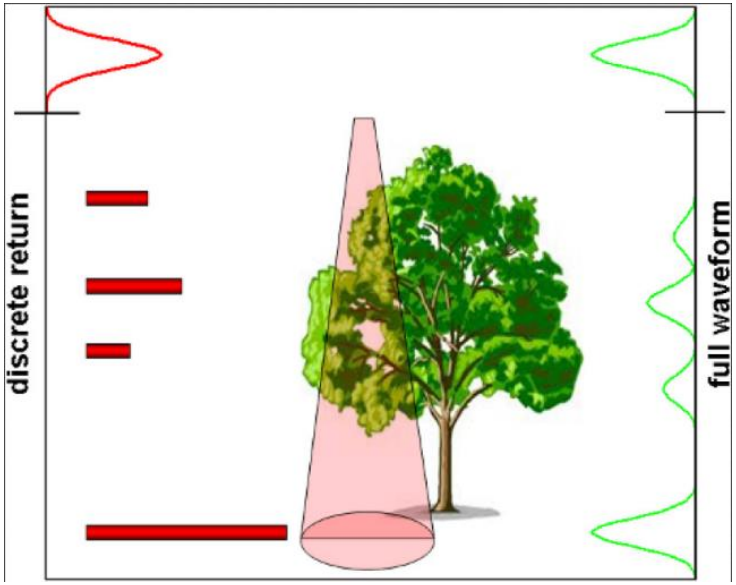
Material de referencia sobre LIDAR

- Sistema de Observación Mundial de la Dinámica de la Cubierta Forestal y la Cubierta Terrestre (GOFC-GOLD) (2014), *Sourcebook* (Libro de consulta), sección 2.10

  http://www.gofcgold.wur.nl/redd/index.php
- Iniciativa Mundial de Observación de los Bosques (GFOI) (2014), *Integración de las observaciones por teledetección y terrestres para estimar las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero* (documentación de métodos y orientación), secciones 3.2.4 y 3.2.5 http://www.gfoi.org/methods-guidance-documentation
- De Sy, V., Herold, M., Achard, F., Asner, G.P., Held, A., Kellndorfer, J., y Verbesselt, J. (2012), "Synergies of multiple remote sensing data sources for REDD+ monitoring", en: *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1-11
- McRoberts, R.E., Andersen, H.-E. y Næsset, E. (2014), "Using airborne laser scanning data to support forest sample surveys", en: Maltamo, M., Næsset, E. y Vauhkonen, J. (comps.), *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning,* Springer
- McRoberts, R.E. y Bollandsås, O.M. (2014), "Modeling and estimating change", en: Maltamo, M., Næsset, E. y Vauhkonen, J. (comps.), *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning*.
- Næsset E. (1997,) "Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data", en: Remote Sens Environ 51: 246-253
- Vauhkonen, J., Maltamo, M., McRoberts, R.E. y Næsset, E. (2014), "Introduction to forest applications of airborne laser scanning", en: Maltamo, M., Næsset, E. y Vauhkonen, J. (comps.), Forestry Applications of Airborne Laser Scanning, Springer

LIDAR: Antecedentes y características

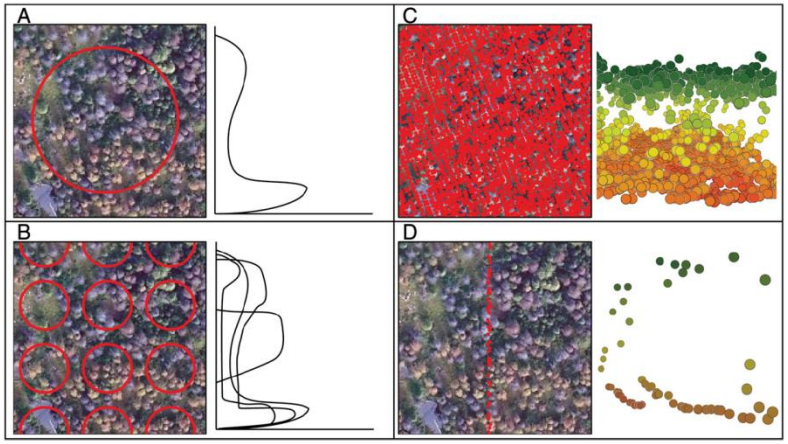
- La tecnología *Light Detection And Ranging* (detección y localización por la luz, LIDAR) utiliza **sensores activos.**
- Se obtiene información de los láseres para calcular la **distribución tridimensional** de la bóveda de follaje así como la topografía del sotobosque.
- Los sistemas LIDAR se clasifican como sistemas de muestras de **forma de onda completa** o **retorno discreto** que, a su vez, se dividen en **trazado de perfiles** y **sistemas de escaneo.**
- Los sensores LIDAR pueden hacer estimaciones sobre la altura, el volumen y la biomasa de los árboles y el cerramiento de las copas.



Ussyshkin 2011.

Experiencias para fines de seguimiento (1/3)

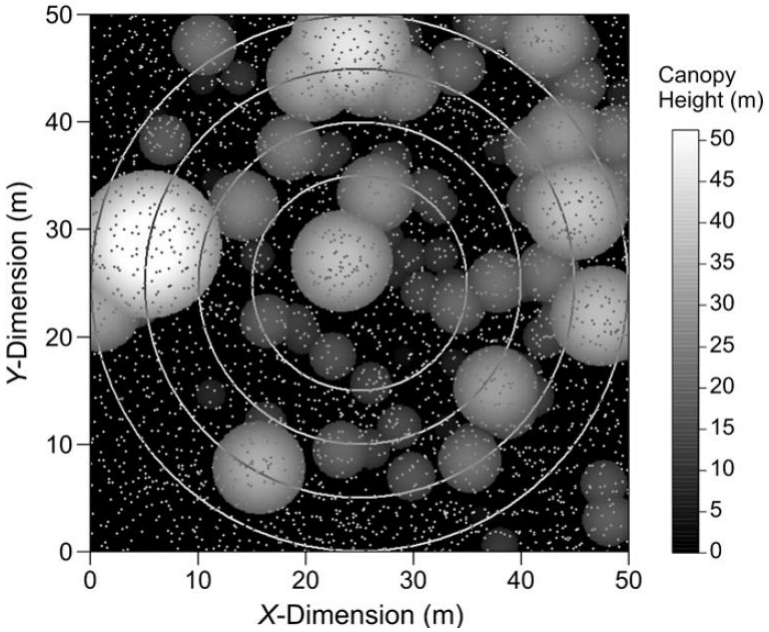
- **Las estimaciones de altura** realizadas con datos detectados de forma remota a través de LIDAR aerotransportado garantizan una exactitud igual o mayor que las estimaciones realizadas sobre el terreno.
- Los errores de medición de LIDAR pueden ser <1,0 m para las alturas de árboles individuales de una especie determinada.
- Las mediciones **LIDAR** no muestran efecto de saturación.
- Las **mediciones terrestres son necesarias** para estimar las **relaciones** entre las propiedades tridimensionales de la nube de puntos **LIDAR** tales como la altura o la densidad del follaje, y para definir como objetivo las **propiedades biofísicas** de interés, tales como la biomasa, mediante técnicas estadísticas paramétricas o no paramétricas.



A: Forma de onda a bordo de vehículo espacial
B: Forma de onda aerotransportada
C: Escaneo por retorno discreto LIDAR
D: Trazado de perfiles por retorno discreto LIDAR
(Wulder y otros, 2012)

Experiencias para fines de seguimiento (2/3)

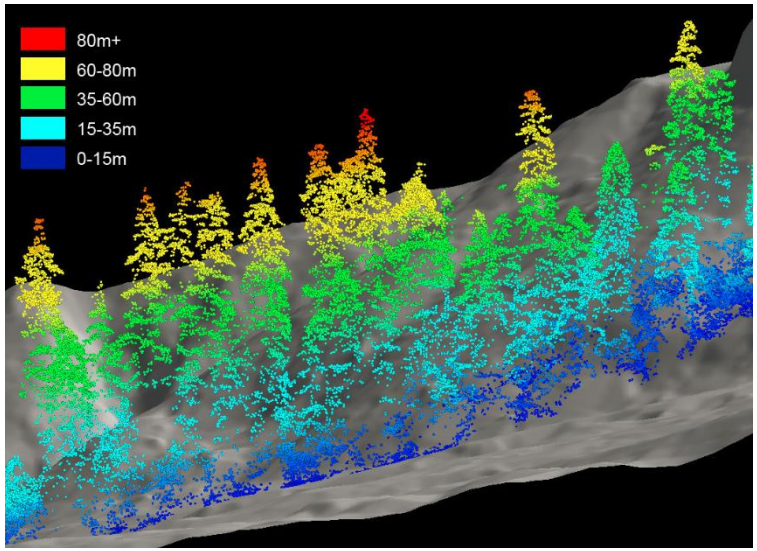
- Se puede usar el modo de zona completa o el modo de muestras para el seguimiento de áreas de grandes dimensiones.
- Se deben considerar fuentes de error en modelos alométricos terrestres.
- Se requiere mayor investigación para una mejor evaluación o consideración de los errores de modelo asociados a los métodos de muestreo LIDAR tridimensionales.
- Errores de registros simultáneos entre las parcelas de terreno y los datos LIDAR: las parcelas más grandes (radio >=25 m) proporcionan mayor precisión de la biomasa.



Frazer y otros, 2011.

Experiencias para fines de seguimiento (3/3)

- **Costos**: Varían ampliamente en función del área donde se haga el seguimiento (son posibles las economías de escala).
  En Europa: US$0,5-US$1 por hectárea; mayor en América del Sur usando empresas locales.
- Las licitaciones recientes para prestar cobertura LIDAR de zona completa para una demostración de REDD+ en Tanzanía realizadas por proveedores de datos europeos estuvieron en el orden de los US$0,5-US$1,0 por hectárea.
- La tecnología LIDAR aerotransportada puede ser **más rentable** que otras tecnologías de detección remota, incluso cuando los datos se adquieren sin costo, ya que se pueden requerir **menos observaciones en el terreno** para satisfacer el nivel de precisión específico.



Fotografía: Spies y Olsen, Universidad del Estado de Oregon.

Diseño, modelización y estimación para la medición LIDAR (1/5)

- Los **modelos** se basan en la relación entre los atributos forestales y los datos LIDAR generalmente obtenidos mediante una combinación de **observaciones de parcelas en el terreno** y **métricas LIDAR georreferenciadas**.
- Existe escasa información empírica disponible sobre configuraciones de parcelas y diseños de muestras.
- Es probable que los resultados de estudios en bosques boreales y templados no sean definitivos para las aplicaciones en zonas tropicales, pero pueden proporcionar orientación útil sobre:
    - la exactitud de la posición del GPS;
    - el error de posición.

Diseño, modelización y estimación para la medición LIDAR (2/5)

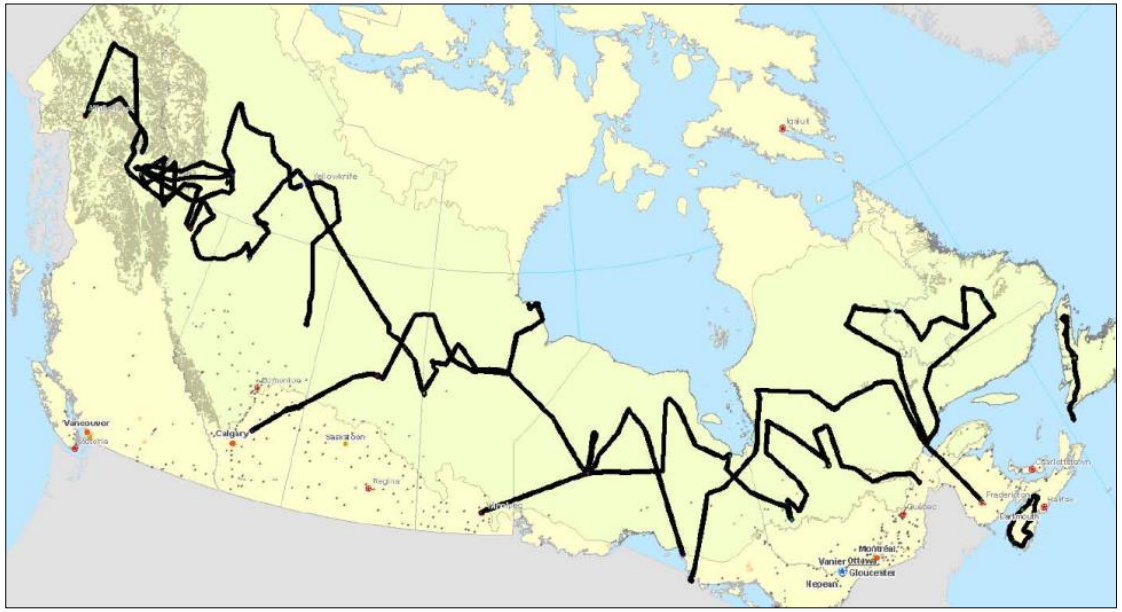
- Forma de parcela:
  - Bosques boreales y templados: parcelas circulares
  - Países tropicales: parcelas rectangulares
- Densidades de pulso:
  - Bosques boreales y templados: >0,1 pulsos/m^2; áreas de parcela >200 m^2; densidades de pulso de 100-225 por parcela
  - Pueden ser umbrales mínimos para países tropicales
- Muestras del terreno:
  - Costosas
  - Capitalizar los programas de muestras existentes (p. ej., inventarios forestales nacionales) para adquirir datos de capacitación en el terreno y de evaluación de la precisión

Diseño, modelización y estimación para la medición LIDAR (3/5)

- Las franjas LIDAR se pueden diseñar sobre la base de parcelas de terreno distribuidas sistemáticamente (p. ej., de los inventarios forestales nacionales)
- Las franjas se pueden distribuir aleatoria o sistemáticamente en el área de estudio, y las parcelas de tierra se pueden establecer exclusivamente dentro de las franjas LIDAR.

Diseño, modelización y estimación para la medición LIDAR (4/5)

- Es posible combinar los escenarios.
- El rendimiento de los datos a lo largo de las transecciones también se puede modular para mitigar la autocorrelación espacial de las medidas.



Fuente: Ministerio de Recursos Naturales de Canadá.

Diseño, modelización y estimación para la medición LIDAR (5/5)

- **Muestreo aleatorio estratificado usando estratos** (p. ej., alturas, mapa de biomasa de menor definición):
  - Puede producir errores cuadráticos medios (ECM) más pequeños entre la biomasa y las métricas LIDAR
  - Requiere menos extrapolaciones por encima del rango de datos de muestras LIDAR cuando el modelo se aplica a toda la población
- Se requieren **intervalos de confianza** para las estimaciones basadas en LIDAR de las áreas grandes, además de mediciones de **precisión cartográfica** para variables de atributos forestales categóricos o modelos ECM para variables continuas
- Vea el módulo 2.7 sobre cálculo de incertidumbres

Disponibilidad de datos y capacidades nacionales requeridas (1/2)

- Los datos LIDAR de todo el mundo tomados desde el espacio y basados en datos de GLAS se pueden consultar gratuitamente a través del Centro Nacional de Datos sobre el Hielo y la Nieve, NSIDC (período operativo: 2003-09).
- Es posible adquirir datos LIDAR de medios aerotransportados de cualquier parte del mundo y solicitar cobertura a pedido a través de agencias comerciales.
- Los datos aéreos se pueden recopilar teóricamente en cualquier parte, pero los costos son, en general, mayores para los sitios más inusuales y donde la implementación de la medición es más difícil.
- Los datos aéreos se pueden recopilar a través de una variedad de instrumentos, con distintas configuraciones, lo que produce datos con calidades variadas.
- Los aviones de vuelo a baja altitud requieren el acuerdo o la participación de los organismos nacionales.

Disponibilidad de datos y capacidades nacionales requeridas (2/2)

Summary of LiDAR survey flight and sensor parameters.

Attribute	Value
Platform	PA31 Piper Navajo
Flying height (m)	450 to 1,900 m
Sensor	ALTM 3100C
Maximum number of returns	4
Laser wavelength (nm)	1,064
Pulse repetition frequency (kHz)	50 or 70
Maximum scan angle (degrees)	±20
Beam divergence angle (mrad)	0.3
Footprint diameter (m)	Varying according to altitude of flight
Average swath width (m)	630
Average nominal ground return density (returns/m^2)	2.8

Mora y otros, 2013.

Estado, desarrollos previstos a corto plazo y sostenibilidad a largo plazo

- Actualmente no hay ningún láser espacial operativo.
- La Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) está trabajando en el desarrollo de una nueva misión LIDAR a bordo del ICESat II, con la utilidad de hacer estimaciones sobre la estructura vegetal, la altura y la biomasa desconocidas hasta el momento.
- El lanzamiento del ICESat II está programado para 2017 (http://icesat.gsfc.nasa.gov/icesat2/mission_overview.php).
- La NASA también tiene previsto para la década de 2020 el lanzamiento de la misión de topografía de la superficie LIDAR (LIST) para recopilar datos LIDAR globales durante cinco años.

Utilidad de LIDAR en el seguimiento forestal (1/2)

- LIDAR es una tecnología emergente en cuanto al seguimiento de áreas de grandes dimensiones, en especial para REDD+.
- No obstante, esta tecnología está bien consolidada como fuente de datos para contribuir a la gestión forestal y al logro de objetivos científicos.
- La capacidad de LIDAR para caracterizar la biomasa y los cambios de la biomasa a lo largo del tiempo posiciona bien a la tecnología en lo que respecta a la satisfacción de las necesidades de información de REDD+.
- "Los costos de un programa deben ser comparados con la información adquirida, para valorar cómo esta información satisface las necesidades específicas y el grado en que la reducción de la incertidumbre a través de las estimaciones basadas en LIDAR compensa los costos iniciales" (Wulder y otros, 2012).

Utilidad de LIDAR en el seguimiento forestal (2/2)

Capacidades técnicas de los sensores de detección remota para la generación de productos de información de REDD+ (nacionales)

Forest information product	Sensor type						
	Optical/thermal			Radar/SAR		LiDAR	
	Coarse	Medium	Fine	Medium	Fine	Satellite (Large footprint[a])	Airborne (Small footprint[a])
Forest area change monitoring							
Near real-time deforestation detection							
Land use change patterns and tracking of human activities							
Forest degradation monitoring							
Monitoring of wildfires and burnt areas							
Biomass mapping							
Sub-national hotspot monitoring							
Forest type mapping							

[a]Footprint is the ground instantaneous field-of-view, which is a measure of the ground area viewed by a single detector element in a given instant in time.

- Muy adecuado
- Adecuado
- Útil
- Limitado a capacidades no técnicas

De Sy y otros, 2012.

En síntesis

- La tecnología LIDAR emplea sensores activos.
- Los sensores LIDAR pueden hacer estimaciones sobre la altura, el volumen, la biomasa y el cerramiento de las copas de los árboles.
- Las mediciones LIDAR ofrecen un alto grado de precisión, comparable con el de las mediciones sobre el terreno.
- Las relaciones se establecen entre las propiedades tridimensionales de la nube de puntos LIDAR (altura y densidad de follaje) y las propiedades biofísicas (biomasa), usando ecuaciones alométricas.
- LIDAR es una tecnología emergente en cuanto al seguimiento forestal de áreas de grandes dimensiones, en especial para actividades de REDD+.

Esquema de la conferencia

1. Función de las observaciones realizadas con la tecnología LIDAR para la caracterización forestal y experiencias con LIDAR para fines de seguimiento
2. **El uso de RADAR para el seguimiento forestal**

Material de referencia sobre RADAR

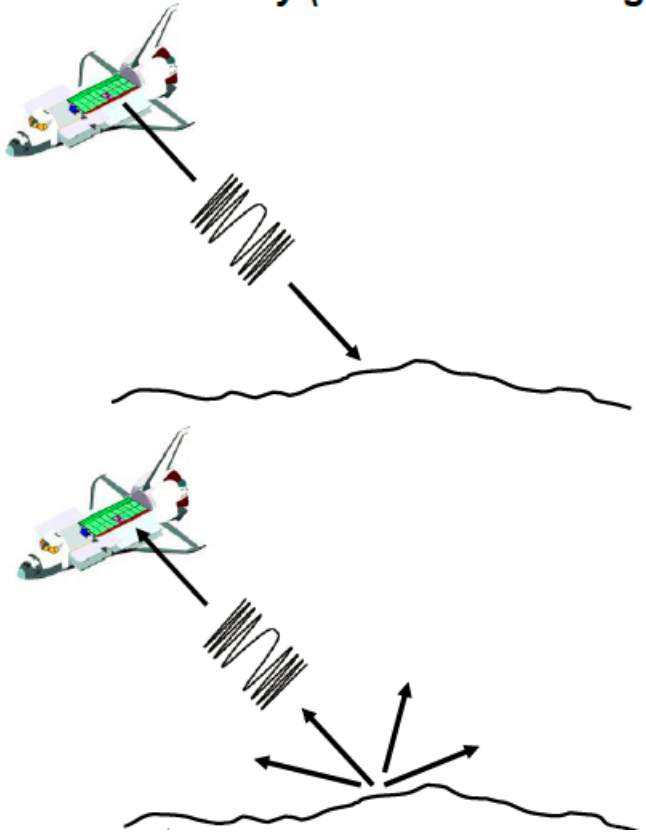
- De Sy, V., Herold, M., Achard, F., Asner, G.P., Held, A., Kellndorfer, J., y Verbesselt, J. (2012), "Synergies of multiple remote sensing data sources for REDD+ monitoring", en: *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1-11.
- Sistema de Observación Mundial de la Dinámica de la Cubierta Forestal y la Cubierta Terrestre (GOFC-GOLD) (2014), *Sourcebook* (Libro de consulta), sección 2.10, http://www.gofcgold.wur.nl/redd/index.php.
- Gibbs HK, Brown S, Niles JO y Foley JA (2007), "Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality", en: Environmental Research Letters, 2:045023. Presenta una síntesis de las opciones para estimar las reservas de carbono de la biomasa forestal a nivel nacional en países en desarrollo y propone métodos para vincular las estimaciones de carbono en los bosques con la deforestación.
- Sarker, L. R., Nichol, J. y Mubin, A. (2013), "Potential of Multiscale Texture Polarization Ratio of C-band SAR for Forest Biomass Estimation", en A. Abdul Rahman, P. Boguslawski, C. Gold y M. N. Said (comps.), *Developments in Multidimensional Spatial Data Models* (Springer, pp. 69-83). Berlín, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, doi:10.1007/978-3-642-36379-5.

Tecnología de radar de apertura sintética (RAS)

- Los sensores RAS se utilizan desde la década de 1960 para producir imágenes de la superficie terrestre, y se basan en los principios de la **reflectividad al radar** (*radio detection and ranging*, es decir, detección y medición por radio).
- El RAS se fundamenta en el movimiento relativo entre la antena del sensor y el objetivo, y para su funcionamiento se suele usar una **plataforma móvil** (avión, transbordador espacial o satélite).
- El radar es un **sistema activo**, lo que significa que constituye la fuente de su propia energía electromagnética.

Mecanismos de retrodispersión del radar (1/3)

- ***Radar reflectivity (backscattered signal) of the target as a function of position***

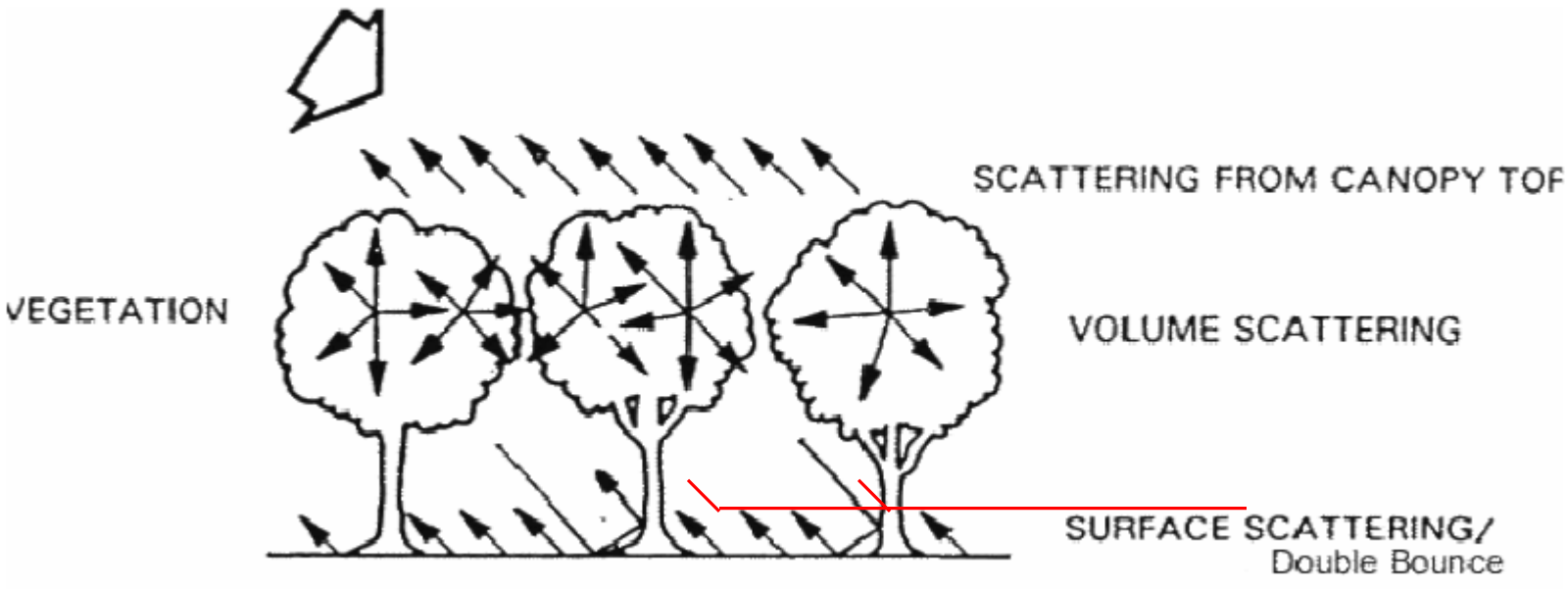


- El radar transmite un pulso (la velocidad de desplazamiento es igual a la velocidad de la luz).

- Una parte de la energía del pulso del radar se refleja de nuevo en el propio radar.
- Esto es lo que mide el radar: se conoce como retrodispersión del radar σ_0

Fuente: López-Dekker, 2011.

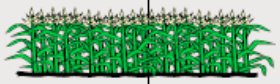
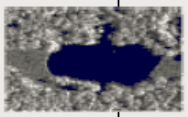
Mecanismos de retrodispersión del radar (2/3)



Fuente: Thiel, 2011.

Mecanismos de retrodispersión del radar (3/3)

Backscattering Coefficient σ_o

Levels of Radar backscatter		*Typical scenario*
• *Very high backscatter (above -5 dB)*		*Man-Made objects (urban)* *Terrain Slopes towards radar* *very rough surface* *radar looking very steep*
• *High backscatter (-10 dB to 0 dB)*		*rough surface* *dense vegetation (forest)*
• *Moderate backscatter (-20 to -10 dB)*		*medium level of vegetation* *agricultural crops* *moderately rough surfaces*
• *Low backscatter (below -20 dB)*		*smooth surface* *calm water, road* *very dry terrain (sand)*

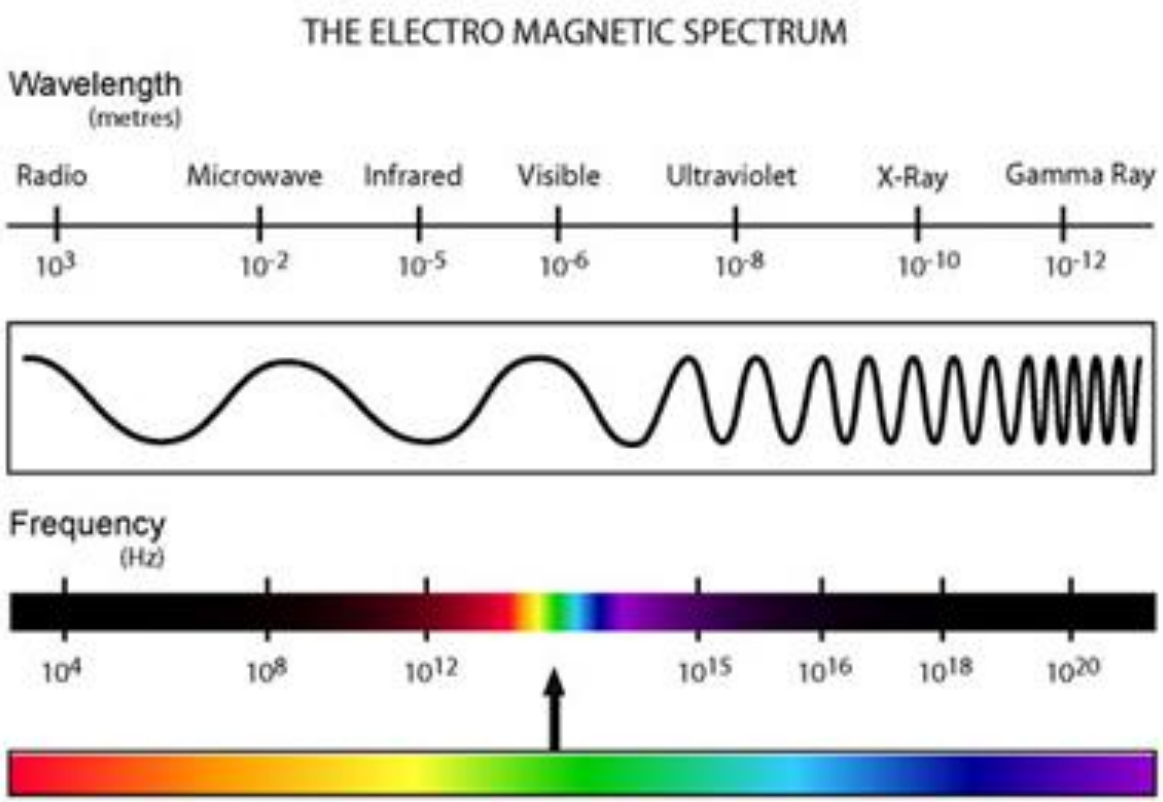
Fuente: Lopez-Dekker 2011.

Ubicación del radar en el espectro electromagnético (1/2)

- Mientras que los sensores ópticos operan principalmente en las porciones visible e infrarroja (ca. 0,4 µm - 15 µm) del espectro electromagnético, los sensores radar operan en la **banda microonda** (ca. 3 cm - 70 cm).
- Las ondas electromagnéticas en el rango visible y en el infrarrojo se dispersan mediante **partículas atmosféricas** (p. ej., niebla, humo y nubes); **las señales de microondas generalmente penetran a través de ellas**

  => valor agregado para la formación de imágenes de bosques tropicales cubiertos por **nubes**

Ubicación del radar en el espectro electromagnético (2/2)



Fuente: http://canadiansubsurface.com/ir.html

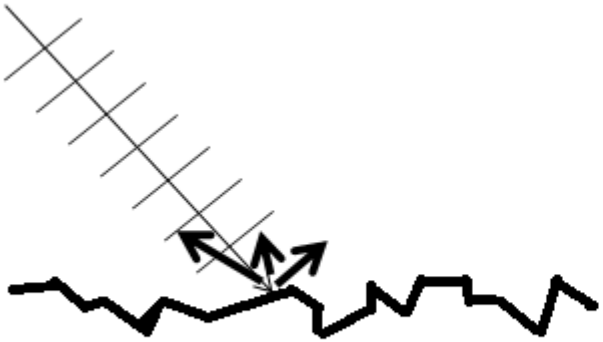
Tecnología de radar de apertura sintética (RAS)

- Las microondas penetran el follaje de los bosques y la intensidad de la energía en retrodispersión depende en parte de:
  - Parámetros del sistema:
    - ángulo de incidencia
    - longitud de onda
    - polarización
  - Condiciones de la superficie
    - rugosidad
    - forma geométrica
    - propiedades dieléctricas del objetivo

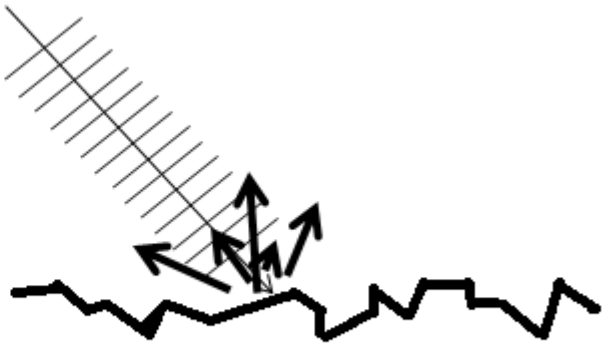
=> La señal en retrodispersión proporciona información útil sobre las características estructurales del bosque, como el tipo de cubierta forestal estructural y la biomasa aérea

Rugosidad de la superficie

- La intensidad de la energía en retrodispersión generalmente aumenta con la rugosidad de la superficie para una *longitud de onda determinada.*



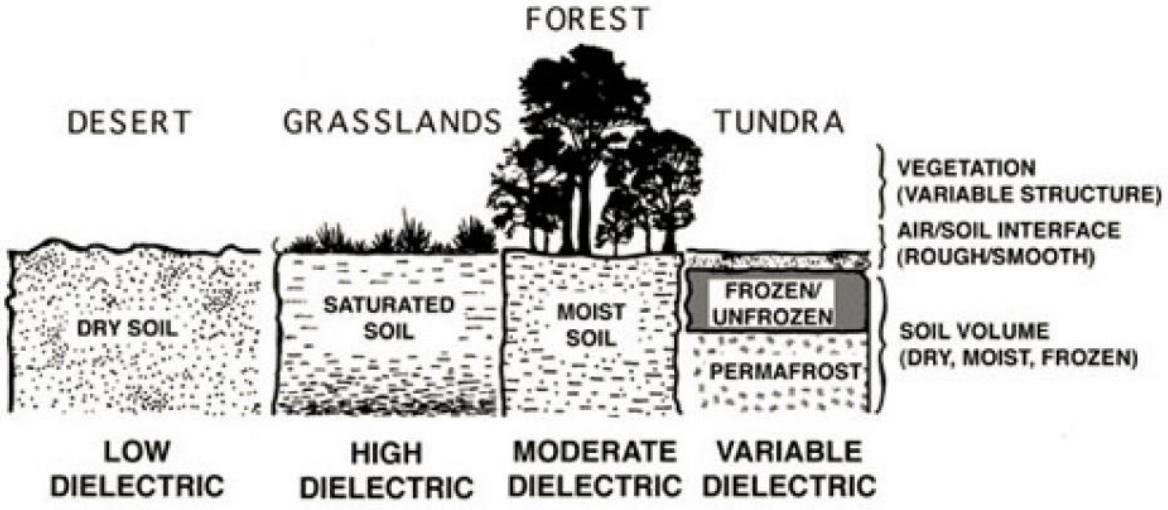
La superficie parece uniforme para longitudes de onda largas.
=> la retrodispersión es baja



La superficie parece rugosa para longitudes de onda más cortas.
=> la retrodispersión aumenta

Constante dieléctrica

- Controlada por el contenido de humedad del objetivo.
- Varía comúnmente entre 1 y 100, p. ej., en materiales naturalmente secos: 3-8; agua: 80.
- La retrodispersión del radar se ve influenciada por la cantidad de humedad en la vegetación y en el suelo.
- Una mayor humedad reduce el nivel de penetración de la señal del radar.



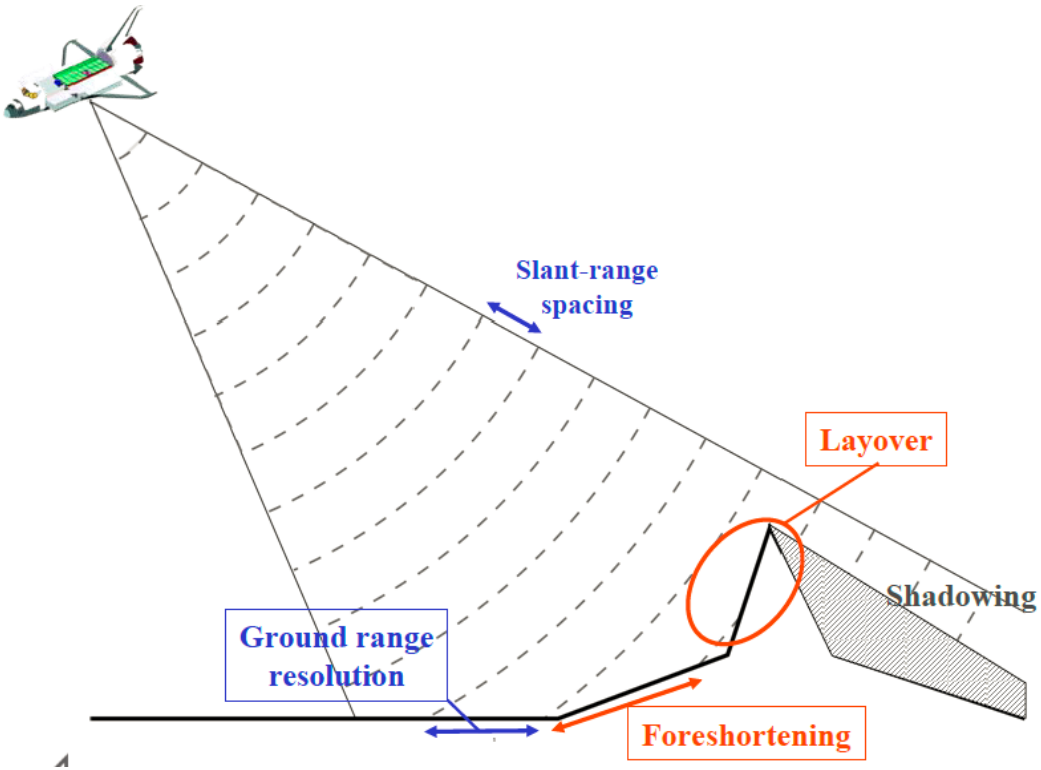
Fuente: Walker (sin fecha).

Preprocesamiento de la señal del radar

- La señal del radar requiere preprocesamiento para hacer frente a:
  - distorsiones geométricas, tales como escorzo (foreshortening) e inversión por relieve (layover)
  - efectos topográficos que ocasionan diferentes condiciones de iluminación en la escena
  - ruido intermitente

- Están disponibles paquetes de *software* comercial y no comercial.

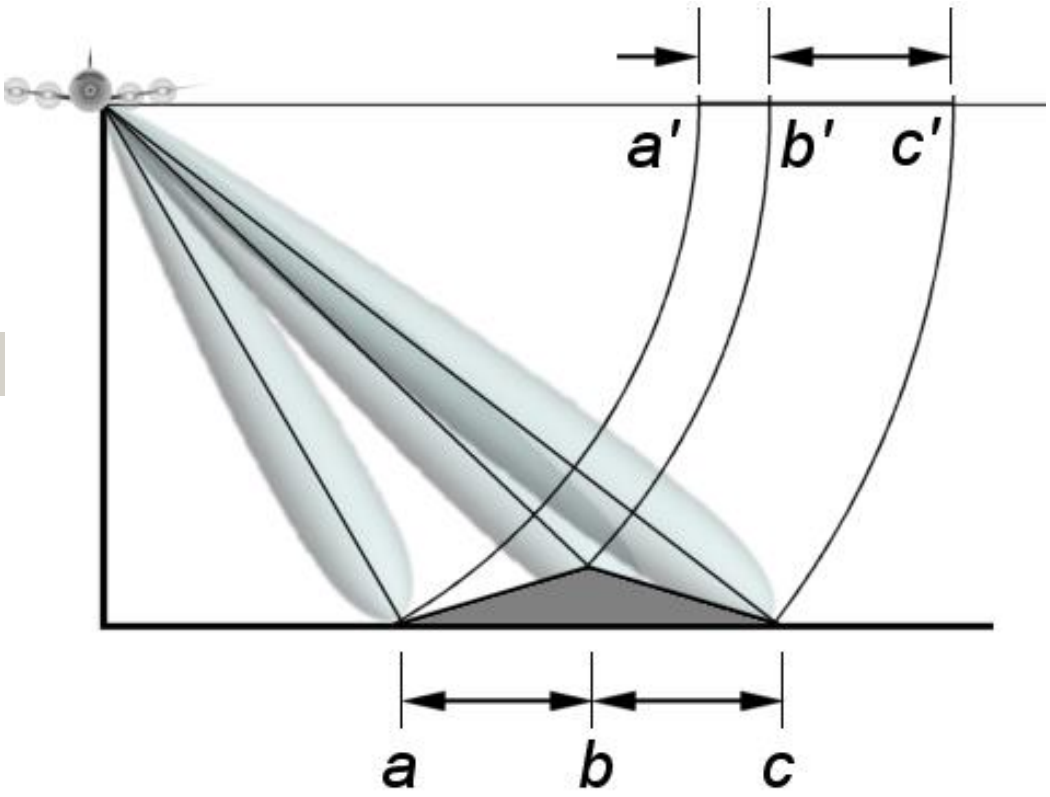
Distorsiones geométricas (1/3)



Fuente: Radartutorial (sin fecha), http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html.

Distorsiones geométricas (2/3)

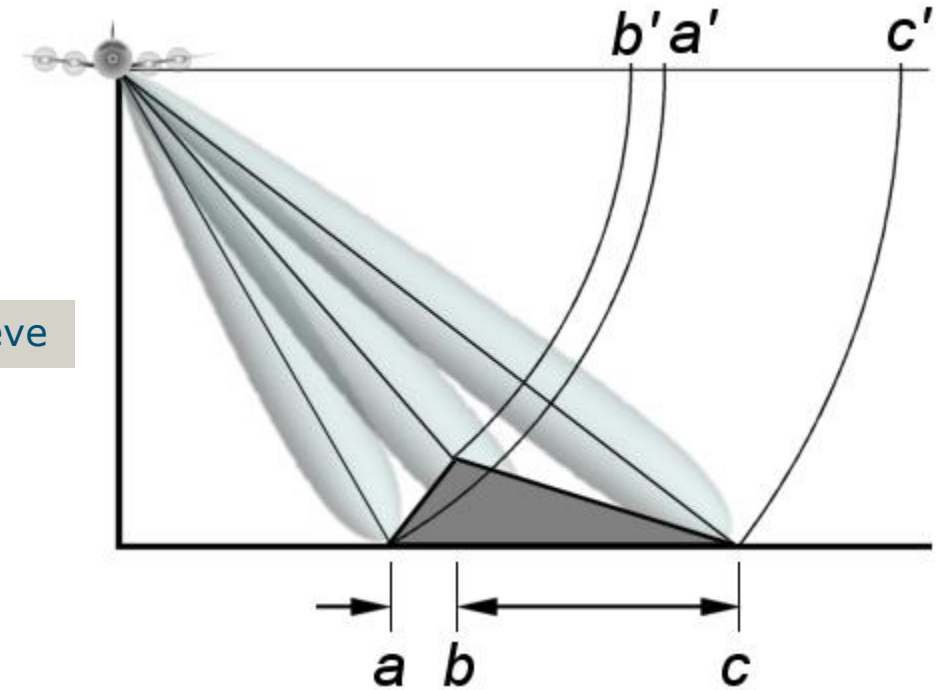
Escorzo



Fuente: Radartutorial (sin fecha), http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html.

Distorsiones geométricas (3/3)

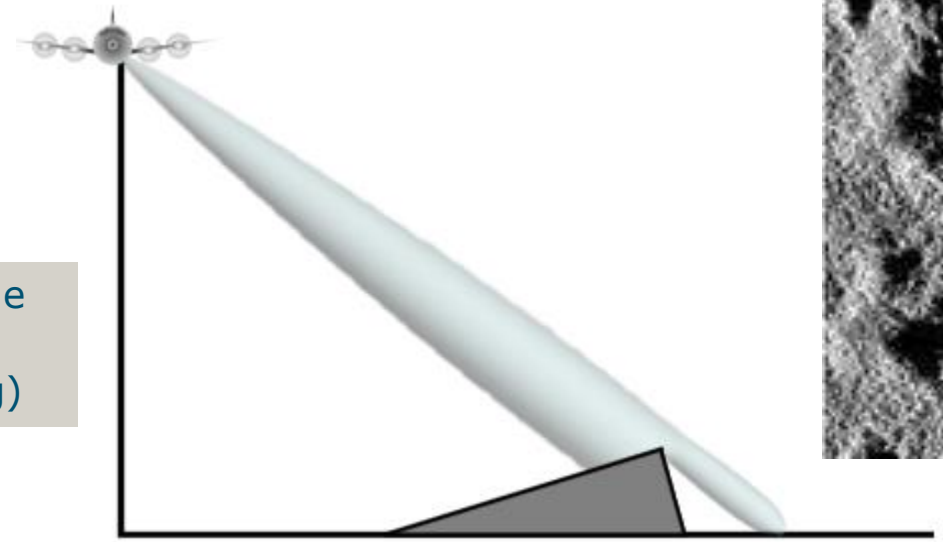
Inversión por relieve



Fuente: Radartutorial (sin fecha), http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html.

Efectos topográficos

Presencia de sombras (shadowing)



Fuente: Radartutorial (sin datos), http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html.

Preprocesamiento de la señal de radar (continuación)

- El ruido intermitente afecta las imágenes por radar y reduce la separabilidad espectral de clase
- Se produce por fluctuaciones aleatorias en la señal de retorno de un objeto
- Es necesario un preprocesamiento para filtrar imágenes y minimizar la pérdida de información

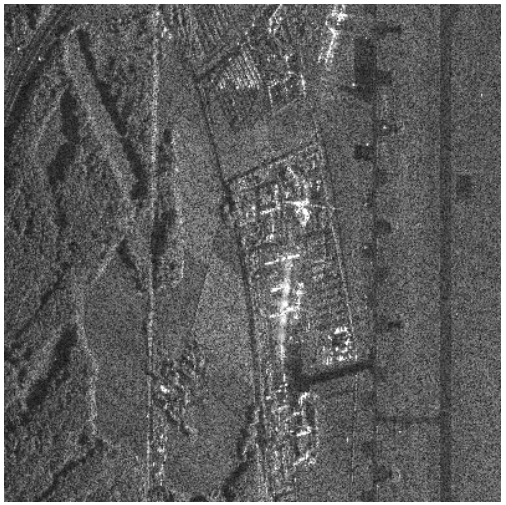
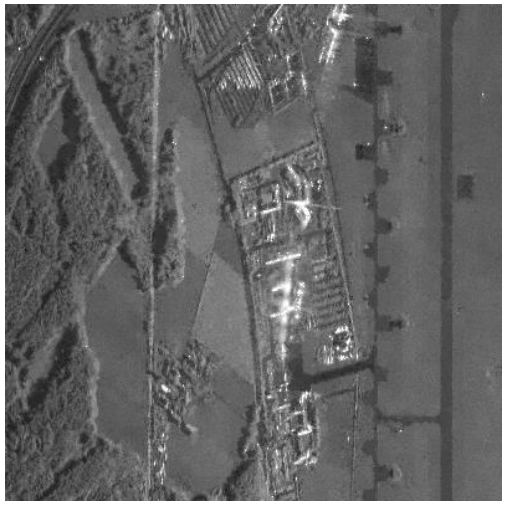


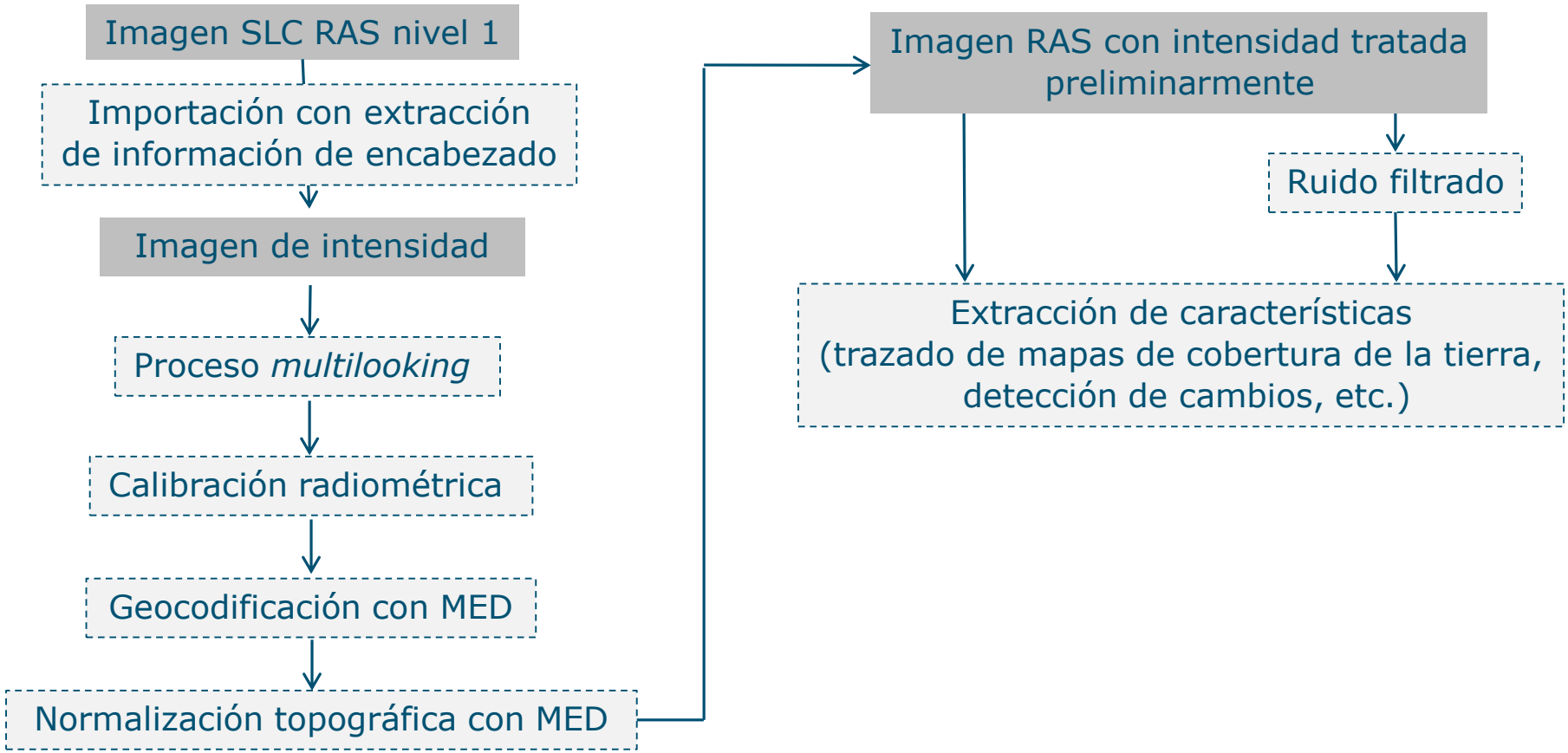
Imagen RAS original RAS AeS-1 aerotransportado



Enfoque basado en el modelo de ruido filtrado

Fuente: Lopez-Dekker, 2011

Cadena de preprocesamiento

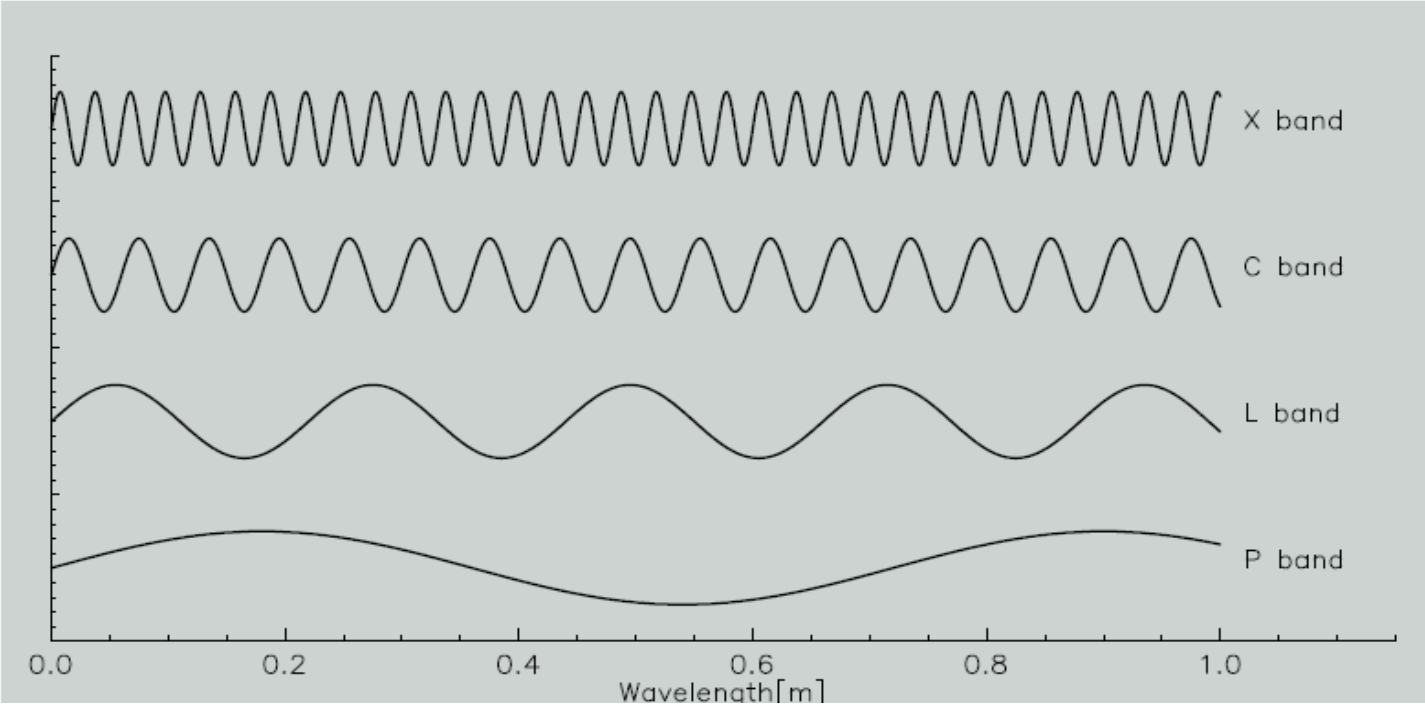


Características de la banda de radar (1/4)

- Activa: los radares iluminan el objetivo de modo que pueden operar durante el día y la noche
- Frecuencias de microondas:
  - Las ondas electromagnéticas penetran el medio hasta cierto punto
  - En la mayoría de las frecuencias las nubes son transparentes
- Interacción compleja con el medio o el objetivo: una imagen de radar no es una fotografía
- Resolución espacial fundamentalmente restringida:
  - No se esperan imágenes RAS de resolución de 1 cm en la banda C

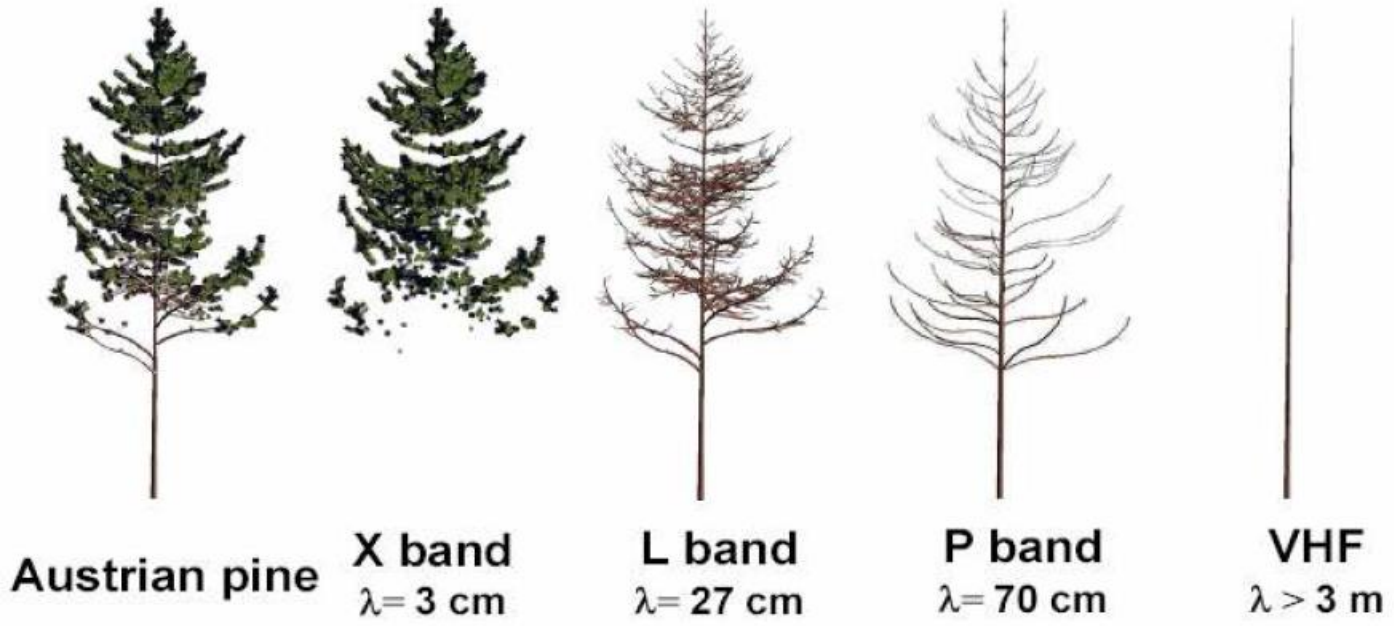
Banda	Frecuencia típica (GHz)	Longitud de onda (cm)
P	0,350	85
L	1,3-1,4	23-21
C	5,3-5,4	5,6-5,5
X	9,65	3,1
Ku	12-18	2,5-1,6
Ka	35	0,8

Características de la banda de radar (2/4)



Fuente: López-Dekker, 2011.

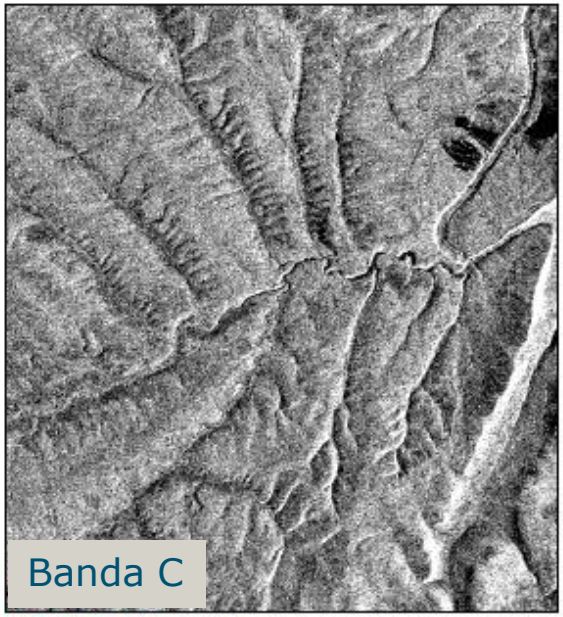
Características de la banda de radar (3/4)



Fuente: Le Toan.

Características de la banda de radar (4/4)

Bosque en diferentes frecuencias



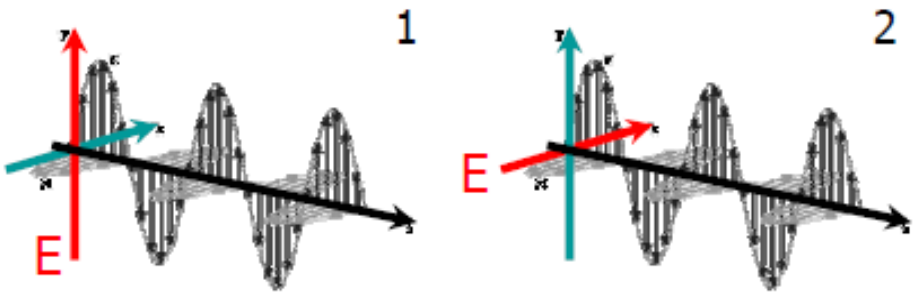
- Small dynamic range
- Variable response to water
- Variable response to open areas
- Can be used as indicator of environmental effects effecting the coherence

- Medium dynamic range
- Stable response to water
- Possible to identify agricultural fields
- Higher frame to frame variations

Fuente: Thiel, 2011.

Técnicas RAS: Polarimetría

- Las ondas de radares poseen polarización.
- Los materiales anisótropos pueden reflejar las ondas en diferentes polarizaciones e intensidades.
- Algunos materiales pueden convertir una polarización (entrante) en otra (de retorno).
- Se pueden generar imágenes múltiples a partir de la misma serie de pulsos.

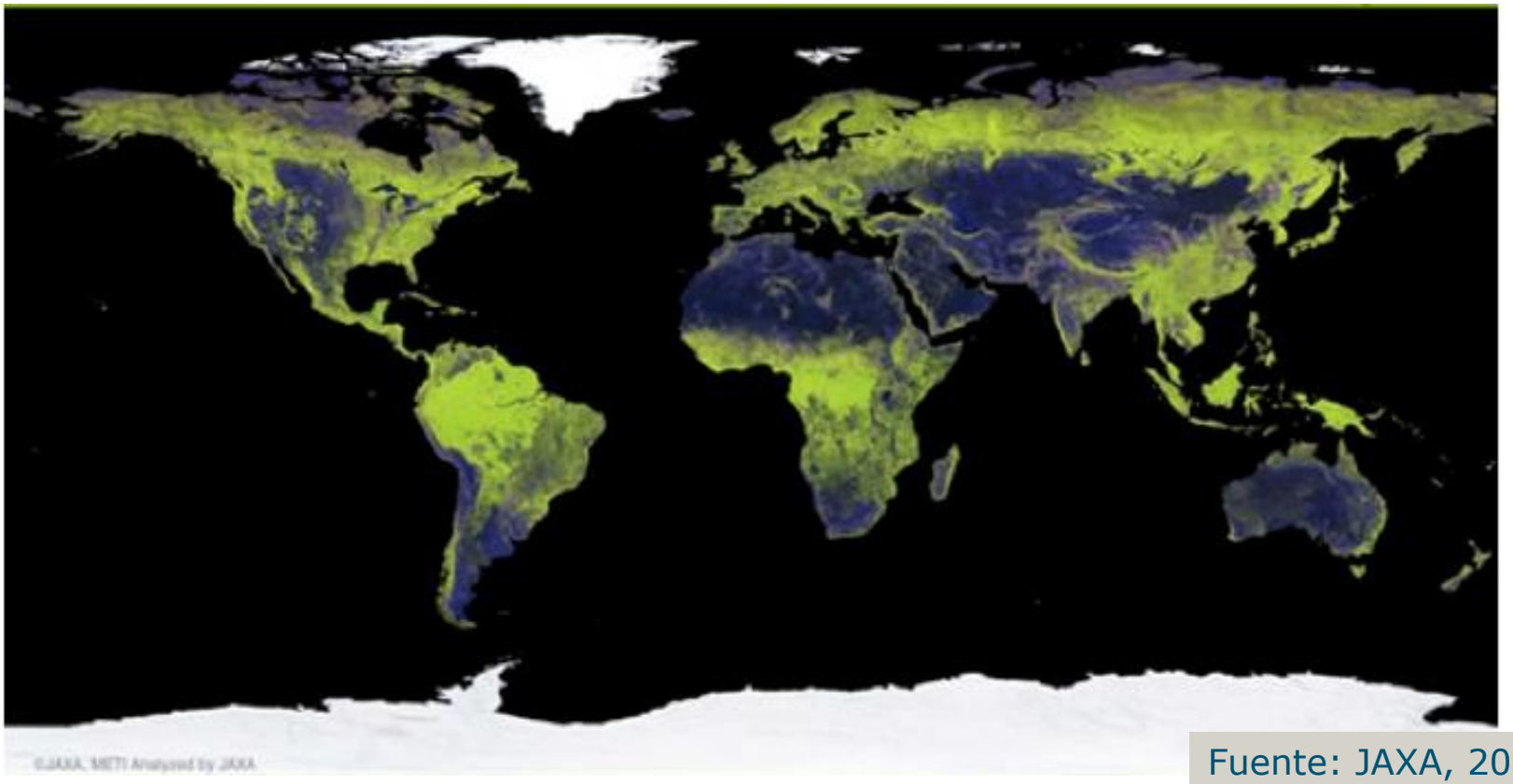


Polarización vertical Polarización horizontal

Fuente: Thiel, 2011.

Radar para el seguimiento forestal

Mosaico compuesto de colores ALOS PALSAR Global
(rojo:HH, verde:HV, azul:HH/HV), espaciamiento entre píxeles de 25 m, 70 000 escenas, obtenido entre junio y octubre de 2009.



Fuente: JAXA, 2009.

Radar para el seguimiento forestal

El RAS (**datos de** Shuttle Radar Topography Mission, **SRTM**) demostró capacidad para **recuperar datos de altura forestal** en áreas de mayor tamaño:

- La misión JERS-1 SAR proporcionó **las primeras observaciones pantropicales y panboreales coherentes**; los datos RAS de banda L de longitud de onda larga demostraron ser útiles para la clasificación forestal y no forestal, y la identificación de crecimiento secundario
- Los datos de banda L también facilitaron el mapeo temporal de aguas estancadas debajo de la cubierta forestal cerrada con series cronológicas
  => diferenciación entre llanuras aluviales y bosques pantanosos

Pasado, presente y futuro de las misiones RAS (1/2)

Satélites/ sensores	Período de funcionamiento	Banda	Longitud de onda (cm)	Polarización	Resolución espacial (m)	Repetición orbital (días)
ERS-1	1991-2000	C	5,6	Simple (VV)	26	3-176
JERS-1	1992-1998	L	23,5	Simple (HH)	18	44
ERS-2	1995-2011	C	5,6	Simple (VV)	26	35
RADARSAT 1	1995-2013	C	5,6	Simple (HH)	8-100	3-24
ENVISAT/ ASAR	2002-2012	C	5,6	Simple, doble	30-1000	35
ALOS/ PALSAR	2006-2011	L	23,6	Simple, doble, cuádruple	10-100	46
RADARSAT 2	2007–	C	5,6	Simple, doble, cuádruple	3-100	24
TerraSAR-X **TanMED-X**	2007– 2010–	X	3,1	Simple, doble, interferométrica	1-16	11

Pasado, presente y futuro de las misiones SAR(2/2)

Satélites/ sensores	Período de funcionamiento	Banda	Longitud de onda (cm)	Polarización	Resolución espacial (m)	Repetición orbital (días)
COSMO- SkyMed	2007–	X	3,1	Simple, doble	1-100	16
RISAT-1	2012–	C	5,6	Simple, doble, cuádruple	1-50	25
ALOS-2/ PALSAR-2	2014–	L	23,8	Simple, doble, cuádruple	1-100	14
Sentinel-1A Sentinel-1B	1A: 2014– 1B: programada para 2015	C	5,6	Simple, doble, cuádruple	91-5	12
SAOCOM-1A SAOCOM-1B	programada para 2015, 2016	L	23,5	Simple, doble, cuádruple	101-00	16
NovaSAR	programada para 2015	S	9,4	Simple, doble, triple, cuádruple	6-30	14
RADARSAT Constellation 1/2/3	programada para 2018	C	5,6	Simple, doble, cuádruple	1-100	12
BIOMASS	programada para 2020	P	69,0	Cuádruple	50	Variable

Capacidades de datos RAS para el seguimiento de la cubierta forestal y la estimación de la biomasa

- Los datos RAS son útiles en regiones de nubosidad y pluviosidad altas.
- El RAS proporciona información complementaria a los datos ópticos sobre la cubierta forestal y el uso de la tierra.
- Oportunidades para mejorar el seguimiento forestal y la estimación de la biomasa mediante la integración de RAS, datos ópticos y LIDAR.
- Capacidad del RAS demostrada en niveles subnacionales y regionales.

Capacidades RAS para el seguimiento forestal

- **RAS de banda L**: potencial demostrado para el **seguimiento de la cubierta forestal y los cambios forestales** usando datos de polarización doble de series cronológicas (la polarización cruzada es más sensible a la estructura forestal).
- Uso de *JERS-1* para generar una **línea de base histórica**, sobre la cual se pueda hacer un seguimiento del cambio en la cubierta forestal usando datos ALOS PALSAR más recientes (y un seguimiento continuo a través de ALOS-2).
- **Banda C** (investigación y desarrollo): series cronológicas densas de observaciones generalmente requeridas para la detección precisa del **cambio en la cubierta forestal.**
- **Banda X** (investigación y desarrollo): aplicación en la **evaluación de la degradación forestal**, p. ej., explotación forestal selectiva donde se puede detectar la eliminación parcial o total del follaje; también estimación de la **altura forestal** usando TanDEM-X.

Capacidades del RAS para la estimación de la biomasa (1/2)

- Enfoques para la estimación de la BA: inversión basada en modelos y recuperación de datos de altura del follaje.
- Técnica InSAR para recuperar datos de altura del follaje, combinada con datos alométricos y datos obtenidos sobre el terreno para estimar la biomasa.
- Saturación de señal:
  - Banda C: <50t/ha
  - Banda L: hasta 100t/ha
  - Banda P: >300t/ha
  - combinación con datos ópticos: hasta 400t/ha
- La combinación de diferentes polarizaciones (p. ej., relación C-HV/C-HH) puede mejorar las estimaciones de la biomasa.

Capacidades RAS para la estimación de la biomasa (2/2)

- La recuperación de datos basada en RAS se puede ver afectada por el terreno, la lluvia, la humedad del suelo, la formulación de algoritmos localizados y los niveles de saturación.
- La calibración de algoritmos requiere datos confiables obtenidos sobre el terreno.
- La recuperación de datos de la biomasa aérea de RAS resultó más exitosa en los bosques templados y boreales en comparación con los bosques tropicales (menos especies, menor biomasa).
- Los **enfoques de sensores múltiples** (SAR-LIDAR, SAR-LIDAR-óptico) son prometedores (demostrado en Estados Unidos, Amazonas, Australia, Nepal y Borneo).
- Estimación del cambio en la biomasa:
    - Dos observaciones en el tiempo para modelar el cambio
    - Modelización de la biomasa para cada momento y anotación de la diferencia

Aplicación del radar para el seguimiento forestal

Capacidades técnicas de los sensores de detección remota para la generación de productos de información de REDD+ (nacionales)

Forest information product	Sensor type						
	Optical/thermal			Radar/SAR		LiDAR	
	Coarse	Medium	Fine	Medium	Fine	Satellite (Large footprint[a])	Airborne (Small footprint[a])
Forest area change monitoring							
Near real-time deforestation detection							
Land use change patterns and tracking of human activities							
Forest degradation monitoring							
Monitoring of wildfires and burnt areas							
Biomass mapping							
Sub-national hotspot monitoring							
Forest type mapping							

[a]Footprint is the ground instantaneous field-of-view, which is a measure of the ground area viewed by a single detector element in a given instant in time.

- Muy adecuado
- Adecuado
- Útil
- Limitado a capacidades no técnicas

De Sy y otros, 2012.

En síntesis

- El radar es un **sistema activo** basado en los principios de reflectividad del radar: la retrodispersión del follaje, el volumen y la superficie.
- Los sensores radar funcionan en la banda de **microondas** y son capaces de penetrar las nubes.
- Los parámetros del sistema y las condiciones de la superficie afectan a la intensidad de la energía retrodispersada.
- El **preprocesamiento** es necesario para eliminar las distorsiones geométricas tales como el escorzo, la inversión por relieve, los efectos topográficos y el ruido intermitente.
- Los sistemas RAS que operan en la actualidad actúan en longitudes de onda de bandas de **X-, C- a L** con diferentes funcionalidades.
- Se puede **mejorar el seguimiento forestal** y **la estimación de la biomasa** mediante la integración de RAS, datos ópticos y LIDAR.

Ejemplos de países

- Seguimiento de la deforestación tropical en Kalimantan con el uso del radar.
- Uso de LIDAR e InSAR como datos auxiliares para estimar la biomasa forestal en un área de bosque boreal.

Módulos de consulta recomendados

- Módulos 3.1 a 3.3 para continuar con la evaluación y la presentación de informes de REDD+

Fuentes: ESA; Informe sobre los métodos y la orientación de GEO-GFOI (http://gfoi.org/)

Bibliografía

- Berger, A., T. Gschwantner, R. E. McRoberts, and K. Schadauer. 2014. "Effects of Measurement Errors on Individual Tree Stem Volume Estimates for the Austrian National Forest Inventory." *Forest Science* 60 (1): 14–24.
- Böttcher H., K. Eisbrenner, S. Fritz, G. Kindermann, F. Kraxner, I. McCallum, M. Obersteiner. 2009. "An assessment of monitoring requirements and costs of 'Reduced Emissions from Deforestation and Degradation.'" *Carbon Balance Management* 4 (7).
- Breidenbach, J., C. Antón-Fernández, H. Petersson, R. Astrup, and R. E McRoberts. 2014. "Quantifying the Contribution of Biomass Model Errors to the Uncertainty of Biomass Stock and Change Estimates in Norway." *Forest Science* 60 (1): 25–33.
- Cartus, O., Santoro, M., Kellndorfer, J., 2012. Mapping forest aboveground biomass in the northeastern united states with alos palsar dual polarization l-band. *Remote Sensing of Environment* 124: 466–478.
- Cutler, M. E. J., D. S. Boyd, G. M. Foody, and A. Vetrivel. 2012. "Estimating Tropical Forest Biomass with a Combination of SAR Image Texture and Landsat TM data: An Assessment of predictions between Regions." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 70: 66–77. doi:10.1016/j.isprsjprs.2012.03.011

- De Sy, V., M. Herold, F. Achard, G. P. Asner, A. Held, J. Kellndorfer, and J. Verbesselt. 2012. "Synergies of Multiple Remote Sensing Data Sources for REDD+ Monitoring." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4,6: 696–706.
- Ene, L.T., E. Næsset, T. Gobakken, T. G. Gregoire, G. Ståhl, and S. Holm. 2013. "A Simulation Approach for Accuracy Assessment of Two-phase Post-stratified Estimation in Large-area LIDAR Biomass Surveys." *Remote Sensing of Environment* 133: 210–224.
- Frazer, G. W., S. Magnussen, M. A. Wulder, and K. O. Niemann. 2011. "Simulated Impact of Sample Plot Size and Co-registration Error on the Accuracy and Uncertainty of LIDAR-derived Estimates of Forest Stand Biomass." *Remote Sensing of Environment* 115 (2): 636–649. doi:10.1016/j.rse.2010.10.008.
- GFOI (Global Forest Observations Initiative). 2014. *Integrating Remote-sensing and Ground-based Observations for Estimation of Emissions and Removals of Greenhouse Gases in Forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative*. (Often GFOI MGD.) Sections 3.2.4 and 3.2.5. Geneva, Switzerland: Group on Earth Observations, version 1.0. http://www.gfoi.org/methods-guidance/.
- Gibbs, H. K., S. Brown, J. O. Niles, and J. A. Foley. 2007. "Monitoring and Estimating Tropical Forest Carbon Stocks: Making REDD a Reality." *Environmental Research Letters* 2:045023.

- GOFC-GOLD (Global Observation of Forest Cover and Land Dynamics). 2014. *A Sourcebook of Methods and Procedures for Monitoring and Reporting Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions and Removals Associated with Deforestation, Gains and Losses of Carbon Stocks in Forests Remaining Forests, and Forestation*. (Often GOFC-GOLD Sourcebook.) Netherland: GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University. http://www.gofcgold.wur.nl/redd/index.php.
- Gold, P., and M. N. Said, eds. 2013. *Developments in Multidimensional Spatial Data Models*. Springer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Gregoire, T. G., G. Ståhl, E. Næsset, T. Gobakken, R. Nelson, and S. Holm. 2011. "Model-assisted Estimation of Biomass in a LIDAR Sample Survey in Hedmark County, Norway." *Canadian Journal of Forest Research* 41: 83–95.
- Lopez-Dekker, 2011. PECS SAR Remote Sensing Course - Introduction to SAR I. ESA/University of Szeged/ DLR 13–17 June 2011, Szeged, Hungary.
- Lucas, R., Armston, J., Fairfax, R., Fensham, R., Accad, A., Carreiras, J., Kelley, J., Bunting, P., Clewley, D., Bray, S., Metcalfe, D., Dwyer, J., Bowen, M., Eyre, T., Laidlaw, M., and Shimada, M., 2010. An Evaluation of the ALOS PALSAR L - Band Backscatter-Above Ground Biomass Relationship Queensland, Australia: Impacts of Surface Moisture Condition and Vegetation Structure. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing*, 3, 576 - 593.

- Magnussen, S., and P. Boudewyn. 1998. "Derivations of Stand Heights from Airborne Laser Scanner Data with Canopy-Based Quantile Estimators." *Canadian Journal of Forest Research* 1031: 1016–1031.
- McRoberts, R. E., E. Næsset, and T. Gobakken. 2012. "Inference for Lidar-assisted Estimation of Forest Growing Stock Volume." *Remote Sensing of Environment* 128: 268–275.
- McRoberts, R. E., H. -E. Andersen, and E. Næsset. 2014. "Using airborne laser scanning data to support forest sample surveys. " In M. Maltamo, E. Næsset, and J. Vauhkonen, eds., *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning*. Berlin: Springer.
- McRoberts, R. E., and O. M. Bollandsås. 2014. "Modeling and Estimating Change." In M. Maltamo, E. Næsset, J. Vauhkonen, eds., *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning*. Berlin: Springer.
- McRoberts, R. E., and J. A. Westfall. 2014. "The Effects of Uncertainty in Model Predictions of Individual Tree Volume on Large Area Volume Estimates." *Forest Science* 60 (1): 34–42.
- Minh, D. H. T., T. Le Toan, F. Rocca, S. Tebaldini, M. M. D'Alessandro, and L. Villard. 2014. "Relating P-Band Synthetic Aperture Radar Tomography to Tropical Forest Biomass. Geoscience and Remote Sensing." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 52 (2): 967–979.
- Mora, B., M. A. Wulder, J. C. White, and G. Hobart. 2013. "Modeling Stand Height, Volume, and Biomass from Very High Spatial Resolution Satellite Imagery and Samples of Airborne LIDAR." *Remote Sensing* 5: 2308–2326. doi:10.3390/rs5052308.

- Næsset, E. 1997a. "Determination of Mean Tree Height of Forest Stands Using Airborne Laser Scanner Data." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 52: 49–56.
- Næsset, E. 1997b. "Estimating Timber Volume of Forest Stands Using Airborne Laser Scanner Data." Remote Sensing of Environment 51: 246–253.
- Næsset, E. 2002. "Predicting Forest Stand Characteristics with Airborne Scanning Laser Using a Practical Two-Stage Procedure and Field Data." *Remote Sensing of Environment* 80: 88–99.
- Næsset, E., T. Gobakken, S. Solberg, T. G. Gregoire, R. Nelson, G. Ståhl, and D. Weydahl. 2011. "Model-assisted Regional Forest Biomass Estimation Using LIDAR and In SAR as Auxiliary Data: A Case Study from a Boreal Forest Area." *Remote Sensing of Environment* 115: 3599–3614.
- Reiche, J., and M. Herold. 2012. "Concepts and Processing Techniques for a Global Sentinel 1–3 Land Cover Dynamics and Change (LCDC) Product." In European Space Agency, ed., *Proceedings of the First Sentinel-2 Preparatory Symposium*, 1–8. Frascati, Italy.
- Reiche, J.; Souza, C.; Hoekman, D.H.; Verbesselt, J.; Haimwant, P.; Herold, M. 2013. "Feature level fusion of multi-temporal ALOS PALSAR and Landsat data for mapping and monitoring of tropical deforestation and forest degradation". *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing* 6,5: 2159 - 2173.

- Santoro et al., 2011. Retrieval of growing stock volume in boreal forest using hyper-temporal series of
- Envisat ASAR ScanSAR backscatter measurements. *Remote Sensing of Environment* 115: 490-507.
- Sarker, L. R., J. Nichol, H. B. Iz, B. Ahmad, and A. A. Rahman. 2013. "Forest Biomass Estimation Using Texture Measurements of High-Resolution." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 51 (6): 3371–3384.
- Sarker, L. R., J. Nichol, and A. Mubin. 2013. "Potential of Multiscale Texture Polarization Ratio of C-band SAR for Forest Biomass Estimation." In A. Abdul Rahman, P. Boguslawski, C. Gold, and M. N. Said, eds., *Developments in Multidimensional Spatial Data Models*. (69–83). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-36379-5.
- Ståhl, G., S. Holm, T. G. Gregoire, T. Gobakken, E. Næsset, and R. Nelson. 2011. "Model-based Inference for Biomass Estimation in a LIDAR Sample Survey in Hedmark County, Norway." *Canadian Journal of Forest Research* 41: 96–107.
- Thiel, 2011. PECS SAR Remote Sensing Course - SAR Theory and Applications to Forest Cover and Disturbance Mapping and Forest Biomass Assessment. ESA / University of Szeged / DLR, 13–17 June 2011, Szeged, Hungary.
- Ussyshkin, V., 2011. "Enhanced discrete return technology for 3D vegetation mapping." 13 June 2011, *SPIE Newsroom.* DOI: 10.1117/2.1201105.003734

- Vauhkonen, J., M. Maltamo, R. E. McRoberts, and E. Næsset. 2014. "Introduction to forest applications of airborne laser scanning." In M. Maltamo, E. Næsset, and J. Vauhkonen, eds., *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning*. Berlin: Springer.
- Wulder, M. A., J. C. White, R. F. Nelson, E. Næsset, H. O. Ørka, C. Coops, and T. Gobakken. 2012. "Lidar Sampling for Large-Area Forest Characterization: A Review." *Remote Sensing of Environment* 121: 196–209. doi:10.1016/j.rse.2012.02.001.