Inicio Módulo Colaboradores Notas técnicas Referencias Encuesta Prueba

# Percepción remota por microondas: Aplicaciones terrestres y de superficie oceánica

Producido por The COMET® Program

# Índice

#### **Introducción**

### Sección 1: Descripción general

- 1.1 Observación de las superficies oceánicas y terrestres con microondas
- 1.2 Emisiones de microondas
- 1.3 Este módulo

#### Sección 2: <u>Humedad del suelo y humedad de superficie</u>

- 2.1 ¿Por qué medir la humedad del suelo en forma remota?
  - 2.1.1 Necesidad de datos de humedad del suelo
  - 2.1.2 Humedad del suelo y pronóstico del tiempo
  - 2.1.3 Aplicaciones y usuarios
  - 2.1.4 ¿Por qué medir la humedad del suelo desde un satélite?
  - 2.1.5 <u>Técnicas pasivas y activas de percepción de la humedad del suelo</u>

#### 2.2 ¿Cómo se ven las superficies húmedas y secas desde el espacio?

- 2.2.1 Comparación de superficies húmedas y secas
- 2.2.2 Curvas de emisión
- 2.2.3 Señal característica de la Iluvia
- 2.2.4 Interferencia de radiofrecuencia
- 2.2.5 Profundidad de penetración en el suelo en función de la frecuencia
- 2.2.6 Profundidad de penetración en el suelo en función del contenido de humedad

## 2.3 De la observación a los productos

- 2.3.1 Extracción de los datos de humedad del suelo
- 2.3.2 Factores que complican el proceso de extracción de datos
- 2.3.3 Minimización de los impactos y estimación de la temperatura de superficie
- 2.3.4 Selección de canales

# 2.4 Instrumentos y ejemplos de productos

- 2.4.1 SSM/I v SSMIS, página 1
- 2.4.2 SSM/I v SSMIS, página 2
- 2.4.3 **AMSR-E, página 1**
- 2.4.4 AMSR-E, página 2
- 2.4.5 <u>Dispersómetro ERS-2 y MetOp</u>

### 2.5 <u>Prestaciones de los instrumentos y características de los productos</u>

- 2.5.1 Sistemas generadores de imágenes de microondas pasivos
- 2.5.2 Sistemas con instrumentos de microondas activos: dispersómetros y SAR
- 2.5.3 Pregunta
- 2.5.4 Comparación de instrumentos de microondas activos y pasivos: pregunta
- 2.5.5 <u>Limitaciones de los productos</u>
- 2.5.6 Pregunta

### Sección 3: Manto de nieve y equivalente en agua

- 3.1 ¿Por qué usar técnicas de teledetección del manto de nieve?
  - 3.1.1 La necesidad de datos de manto de nieve, página 1
  - 3.1.2 La necesidad de datos de manto de nieve, página 2
  - 3.1.3 Aplicaciones y usuarios

#### 3.2 Interacciones entre el manto de nieve y la radiación de microondas

- 3.2.1 Emisiones de microondas: interacción con la superficie terrestre y el manto de nieve
- 3.2.2 Atenuación por dispersión
- 3.2.3 Atenuación por dispersión: profundidad y densidad de la nieve acumulada
- 3.2.4 Atenuación por dispersión: profundidad de la nieve acumulada y tamaño de los granos
- 3.2.5 **Dependencia de la longitud de onda**
- 3.2.6 Selección de canales: 37 GHz
- 3.2.7 Selección de canales: enfoque multiespectral y diferenciación de canales
- 3.2.8 Obstáculos y limitaciones: vegetación
- 3.2.9 Obstáculos y limitaciones: propiedades del suelo, página 1
- 3.2.10 Obstáculos y limitaciones: propiedades del suelo, página 2
- 3.2.11 Obstáculos y limitaciones: propiedades de la nieve seca/húmeda

#### 3.2.12 Obstáculos y limitaciones: propiedades de la nieve, estratificación

3.2.13 Pregunta

#### 3.3 Instrumentos de microondas

- 3.3.1 **SSM/I y SSMIS**
- 3.3.2 **AMSR-E**
- 3.3.3 **AMSU y MHS**

#### 3.4 **Productos**

- 3.4.1 NOAA: manto de nieve combinado
- 3.4.2 NOAA: equivalente en agua de la nieve
- 3.4.3 MSC: equivalente en agua de la nieve, compuesto
- 3.4.4 NSIDC: imágenes compuestas
- 3.4.5 NSIDC: climatografías combinadas
- 3.4.6 NWS: análisis de nieve de NOHRSC

#### 3.5 **Resumen**

- 3.5.1 Pregunta
- 3.5.2 <u>Prestaciones de los instrumentos y características de los productos</u>
- 3.5.3 Limitaciones de los productos
- 3.5.4 <u>Limitaciones de los productos: pregunta</u>

#### Sección 4: Hielo marino

# 4.1 ¿Por qué usar la percepción remota de hielo marino?

- 4.1.1 Necesidad de datos de hielo marino
- 4.1.2 **Aplicaciones y usuarios**
- 4.1.3 ¿Por qué observar el hielo marino desde satélites en órbita polar?

#### 4.2 ¿Cómo se ve el hielo marino desde el espacio?

- 4.2.1 Comparación de agua y capa de hielo
- 4.2.2 Curvas de emisión
- 4.2.3 Preguntas de identificación de estructuras
- 4.2.4 Impactos de la emisividad en la temperatura de brillo
- 4.2.5 Impacto de los cambios en el hielo marino con el tiempo
- 4.2.6 Hielo marino de uno y varios años, página 1
- 4.2.7 Hielo marino de uno y varios años, página 2
- 4.2.8 Hielo marino de uno y varios años, página 3

#### 4.3 De la observación a los productos

- 4.3.1 Selección de canales
- 4.3.2 Selección de canales de los instrumentos de microondas pasivos

## 4.4 Instrumentos y ejemplos de productos

- 4.4.1 **SSM/I y SSMIS**
- 4.4.2 **AMSR-E**
- 4.4.3 **Productos AMSU diarios**
- 4.4.4 Productos AMSU compuestos

#### 4.5 Prestaciones de los instrumentos y características de los productos

- 4.5.1 Sistemas generadores de imágenes de microondas pasivos
- 4.5.2 <u>Limitaciones de los productos</u>
- 4.5.3 <u>Limitaciones de los productos: pregunta</u>

## Sección 5: Temperatura de la superficie del mar

#### 5.1 ¿Por qué usar la percepción remota de TSM?

- 5.1.1 Necesidad de datos de TSM
- 5.1.2 **Aplicaciones y usuarios**
- 5.1.3 ¿Por qué observar la TSM desde los satélites en órbita polar? Página 1
- 5.1.4 ¿Por qué observar la TSM desde los satélites en órbita polar? Página 2
- 5.1.5 ¿Por qué observar la TSM desde los satélites en órbita polar? Página 3
- 5.1.6 ¿Por qué observar la TSM con radiómetros de microondas pasivos?
- 5.1.7 Radiómetros de microondas pasivos para medir la TS

## 5.2 ¿Qué aspecto tiene la TSM desde el espacio?

- 5.2.1 Emisiones de microondas: comparación del agua con tierra firme y hielo marino
- 5.2.2 Emisiones de microondas: curvas de emisión
- 5.2.3 Impactos de la emisividad en la temperatura de brillo
- 5.2.4 Selección de canales
- 5.2.5 <u>Factores oceánicos y atmosféricos que afectan la extracción de TSM</u>
- 5.2.6 Interpretación de los datos de TSM de microondas

# 5.3 Instrumentos y ejemplos de productos

- 5.3.1 Imágenes compuestas de TSM del TMI
- 5.3.2 Anomalías de TSM del TMI
- 5.3.3 Imágenes de TSM del AMSR-E
- 5.4 Prestaciones de los instrumentos y características de los productos

- 5.4.1 Sistemas generadores de imágenes de microondas pasivos
- 5.4.2 **Pregunta sobre los instrumentos**
- 5.4.3 Limitaciones de los productos
- 5.4.4 Pregunta 1 sobre la TSM
- 5.4.5 Pregunta 2 sobre la TSM

# Sección 6: Limitaciones de los productos

- 6.1 Comparación de la resolución espacial de los instrumentos de barrido cónico y lateral
- 6.2 Zonas de contacto entre tierra firme y agua
- 6.3 **Productos superficie terrestre**
- 6.4 **Precipitación**
- 6.5 Viento cerca de la superficie del mar

### Sección 7: Resumen

7.1 Resumen del módulo

#### Introducción

La teledetección satelital es una importante herramienta complementaria para observar las superficies oceánicas y terrestres de nuestro planeta, especialmente en aquellos lugares donde las observaciones in-situ son escasas o inexistentes. La teledetección por microondas desde los satélites en órbita polar desempeña un rol especial, por varias razones. En primer lugar, los satélites en órbita polar ofrecen la capacidad particular de brindar cobertura global. En segundo lugar, la radiación de microondas penetra la mayoría de las nubes y permite observar las estructuras de superficie en la gran mayoría de las condiciones atmosféricas. Este aspecto es particularmente importante sobre el océano, donde en promedio la capa nubosa cubre casi el 70 por ciento de la superficie. Finalmente, dos propiedades importantes que afectan la radiación de microondas, la polarización y la emisividad, varían según la longitud de onda/frecuencia y las características del material o cuerpo emisor. El resultado es que la observación satelital de la radiación de microondas y su variabilidad nos permite identificar y caracterizar propiedades específicas de la superficie que son importantes para el estudio del tiempo y el clima, como la humedad del suelo, el manto de nieve y su equivalente en agua, la extensión y edad del hielo marino, y la temperatura de la superficie del mar.

## 1.0 Descripción general

Este módulo presenta los conceptos y principios básicos de obtener información importante sobre las propiedades de la superficie terrestre y oceánica por medio de las observaciones de teledetección por microondas realizadas por los satélites en órbita polar. La primera sección explica las ventajas de la teledetección por microondas desde una plataforma en órbita polar y describe brevemente algunas de las exclusivas características espectrales que permiten diferenciar los diferentes tipos de superficies y sus propiedades. Las secciones posteriores presentan más a fondo la derivación y aplicación de los productos de microondas que cuantifican cuatro propiedades distintas de la superficie terrestre y oceánica y sus características, incluidos manto de nieve y equivalente en agua de la nieve, hielo marino, humedad de la superficie y del suelo, y temperatura de la superficie del mar. Lleva aproximadamente 2 horas terminar este módulo.

## Objetivos de aprendizaje

Cuando termine de estudiar el módulo, podrá:

- describir los beneficios de la teledetección por microondas para observar diferentes propiedades de la superficie en comparación con el uso de métodos en el visible e infrarrojo;
- describir las áreas clave de aplicación y los grupos de usuarios que se beneficiarán de la caracterización del manto de nieve, hielo marino, temperatura de la superficie del mar y humedad de la superficie y del suelo;
- comprender los principios básicos que permiten la teledetección por microondas de las propiedades de la superficie que se describen en el módulo;
- describir las limitaciones comunes de la extracción de las propiedades de la superficie que se describen en el módulo;
- describir algunas de las limitaciones particulares de cada una de las cuatro propiedades de la superficie que se describen en el módulo;
- nombrar los sistemas satelitales en órbita polar que están disponibles en la actualidad y los cuya implementación está programada para el futuro.

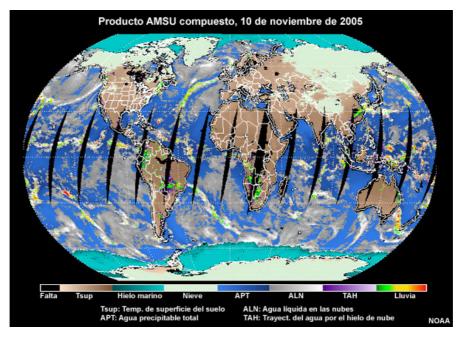
# 1.1 Observación de las superficies oceánicas y terrestres con microondas

La teledetección satelital es una herramienta importante que nos permite observar, caracterizar y seguir los cambios que se producen en las superficies marinas y terrestres del planeta, especialmente en aquellos lugares donde las observaciones in-situ son escasas o inexistentes.



Red mundial de observación sinóptica en superficie

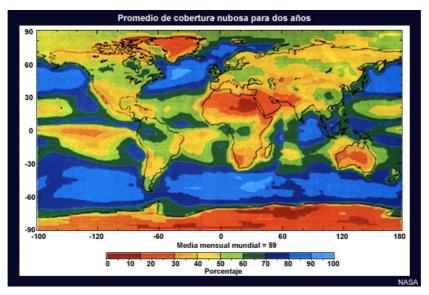
La teledetección por microondas juega un papel especial en la observación de las superficies terrestres y oceánicas por varios motivos. La capacidad de realizar observaciones tanto de día como de noche permite detectar variaciones en las emisiones terrestres de microondas desde los satélites independientemente de las condiciones de iluminación.



Es más, a ciertas frecuencias la radiación de microondas puede penetrar la mayoría de las nubes y permite observar las estructuras de superficie en la gran mayoría de condiciones atmosféricas.

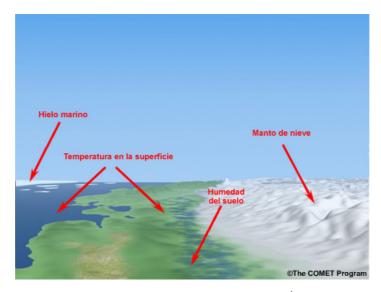


Esto resulta particularmente importante sobre los océanos, ya que en promedio las nubes ocultan el 70 % de su superficie.

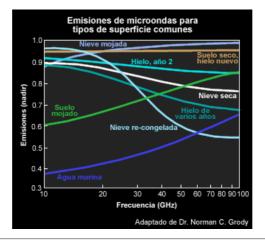


# 1.2 Emisiones de microondas

La cantidad de radiación de microondas emitida por la superficie terrestre depende de las interacciones entre la energía y los diversos elementos y estructuras que componen la superficie.



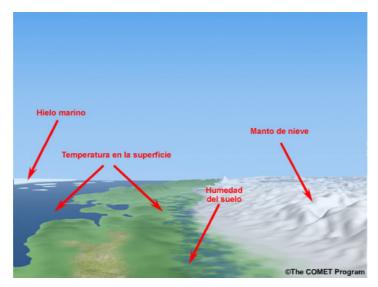
Las dos propiedades que afectan en medida considerable la cantidad de radiación de microondas emitida son la polarización y el efecto dieléctrico. Cada propiedad varía según la longitud de onda y las características físicas del material reflector o emisor. Esto permite distinguir los elementos sólidos de los líquidos y congelados, tanto sobre tierra firme como en las superficies oceánicas. Encontrará información más detallada sobre la polarización y el efecto dieléctrico en el módulo Percepción remota por microondas: recursos de microondas (en inglés).



# 1.3 Este módulo

En este módulo estudiaremos cuatro estructuras de superficie específicas: el manto o capa de nieve y el equivalente en agua de la nieve; el hielo marino; la humedad del suelo; y la temperatura de la superficie del mar.

La capacidad de caracterizar estos parámetros es esencial para una amplia gama de campos y actividades, como meteorología, climatología, hidrología, agricultura, observación de condiciones ambientales y comercio, para mencionar sólo algunas. El viento cerca de la superficie del mar es otro tema importante que se cubre en el módulo **Adelantos en percepción remota con microondas: velocidad y dirección de los vientos oceánicos** (en inglés).

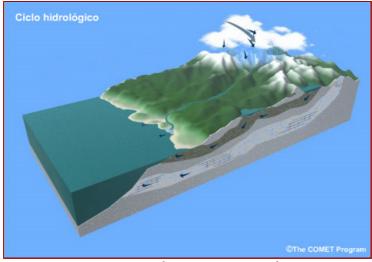


## 2.0 Humedad del suelo y humedad de superficie

# 2.1 ¿Por qué medir la humedad del suelo en forma remota?

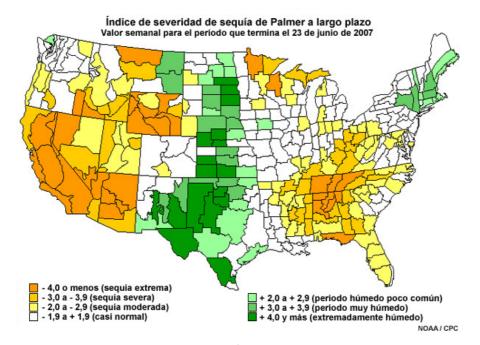
## 2.1.1 Necesidad de datos de humedad del suelo

La humedad del suelo juega un papel fundamental en la condición de las superficies de tierra firme de nuestro planeta, y afecta directamente nuestra salud, nuestra seguridad y sectores tales como transporte, agricultura, actividades militares y la economía de todos los países del mundo. La humedad del suelo es un aspecto esencial para comprender, modelar y predecir la hidrología, los ecosistemas, el tiempo y el clima en tierra firme.

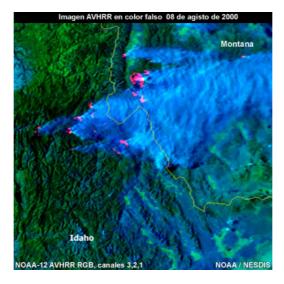


Haga clic aquí para ver la animación

Es imprescindible conocer el contenido de humedad de la capa superior del suelo para poder vigilar las condiciones de los cultivos. Es asimismo importante estar al tanto del contenido de humedad de las capas del subsuelo a mayor profundidad para poder planear las actividades agrícolas y administrar los recursos hídricos.



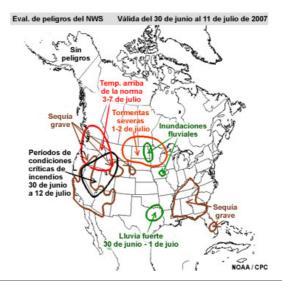
Un nivel bajo de humedad del suelo puede conducir a sequía y crear condiciones propicias para los incendios en zonas despobladas,



mientras que si se suma precipitación a una cantidad excesiva de humedad el peligro de inundaciones puede aumentar.



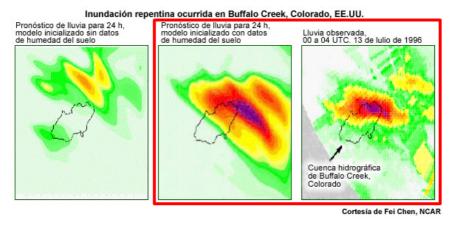
Estas posibilidades destacan la gran importancia de observar las condiciones de humedad del suelo de forma eficaz y continua.



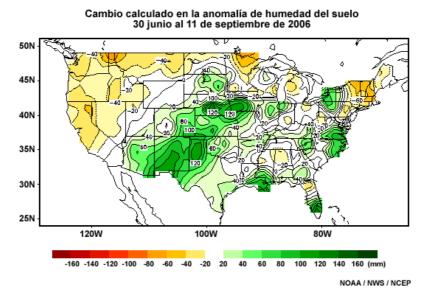
# 2.1.2 Humedad del suelo y pronóstico del tiempo

La humedad del suelo tiene importantes implicaciones para las predicciones meteorológicas. Los modelos de predicción meteorológica requieren información exacta sobre la transferencia de humedad del suelo y energía a la atmósfera inferior para poder pronosticar con exactitud el momento, el lugar y la intensidad de las circulaciones locales del viento y el desarrollo de las nubes. La adquisición de datos más específicos sobre las variaciones regionales de los patrones de humedad de superficie puede ayudarnos a pronosticar la posición de líneas secas, tormentas, temperaturas máximas y mínimas, y condiciones de visibilidad limitada provocadas por calima, smog y niebla.

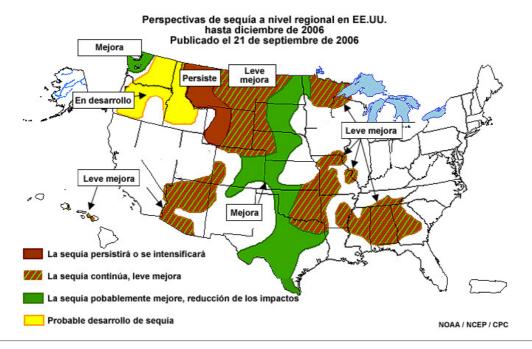
El caso de la inundación repentina de Buffalo Creek, Colorado que ocurrió en julio de 1996 ilustra la gran mejora que se obtiene en el pronóstico de lluvia del modelo al incorporar una representación exacta de la humedad del suelo a las condiciones iniciales del modelo.



Las tendencias de humedad del suelo, tal como se representan en este mapa de anomalía de la humedad del suelo, están relacionadas con los patrones y cambios en el clima local y regional.



El trabajo de investigación, modelado y predicción climática requiere evaluaciones exactas de la humedad del suelo para poder describir y predecir con exactitud los balances hídricos y energéticos.



# 2.1.3 Aplicaciones y usuarios

La información sobre la humedad del suelo se utiliza en el ámbito de planificación tanto civil como militar para trabajo de formulación de políticas, pronóstico e investigación en campos tales como hidrología, agronomía y meteorología, y se aplica a una amplia variedad de usos, como la administración de los recursos hídricos y usos del suelo, planificación agrícola, pronósticos del tiempo, predicciones hidrológicas, predicción de la transitabilidad en tierra firme e

investigación climática.

#### Usos de datos de humedad del suelo

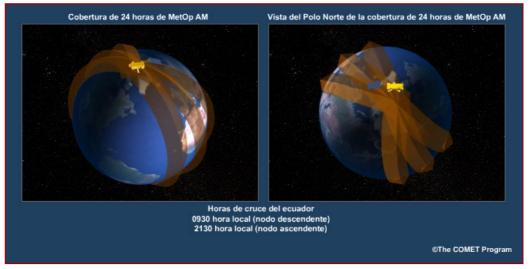
Escala temp.	Aplicaciones	Campo	
Días	Pronóstico diario del tiempo e hidrológico:  Inicialización de la convección  Inicialización de modelos de PNT e hidrología  Desarrollo de nubes bajas y niebla  Escorrentía y potencial de inundaciones	Meteorología     Hidrología     Predicción numérica del tiempo e hidrológica	
Semanas	Pronóstico, observación, administración:  • Administración de cuencas hidrográficas para gener. de energía, irrigación, agua municipal  • Humedad disponible para plantas y cultivos  • Peligros potenciales, como inundaciones, sequías e incendios  • Escorrentía a gran escala  • Balance energético para modelos de radiación  • Clima global y regional, régimen de precip. estacional (esp. en latitudes medias)	Hidrología Administración de recursos hídricos Administración de recursos forestales Agricultura Predicción numérica del tiempo, clima e hidrológica Modelado de la circulación general	
Años	Observ. de cond. de humedad del suelo para:  • Simulaciones de clima global y regional  • Predicción de sequías a largo plazo  • Aptitud para agricultura  • Planificación de usos del suelo	Hidrología     Modelado, predicción e investigación del clima     Modelado de la circulación general     Administración de recursos hídricos	

© The COMET Program

# 2.1.4 ¿Por qué medir la humedad del suelo desde un satélite?

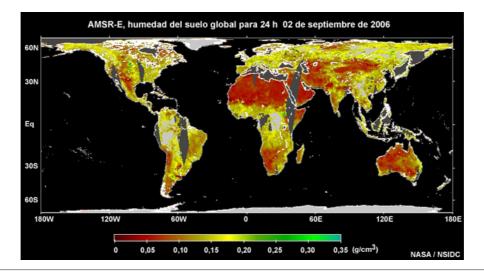
Las mediciones de la humedad del suelo realizadas en el lugar ofrecen la ventaja de poderse actualizar con frecuencia, pero en general son escasas y en muchas partes del mundo son inexistentes. Mucha información importante nunca se detecta.

Las observaciones desde los satélites en orbita polar contribuyen a aliviar estos problemas gracias a una cobertura reiterada de grandes zonas con una resolución casi uniforme, algo ideal para tareas tales como generación de mapas, observación y modelado.



Haga clic aquí para ver la animación

Muchos satélites en órbita polar son capaces de generar mapas de cobertura global a partir de datos de teledetección por microondas, independientemente de las condiciones del tiempo. La radiación de microondas, especialmente en las frecuencias más bajas, es muy sensible a los cambios en la humedad de superficie y penetra todas las capas nubosas salvo las más densas y las que producen precipitación.



# 2.1.5 Técnicas pasivas y activas de percepción de la humedad del suelo

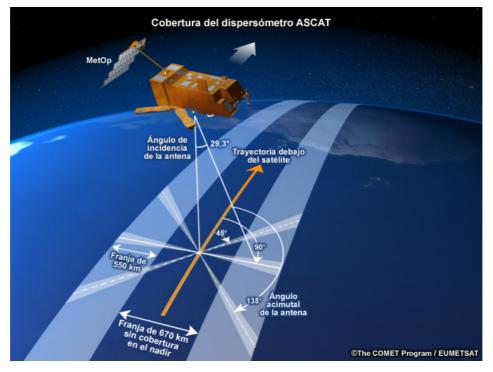
El enfoque tradicional para la extracción de datos de humedad del suelo depende del uso de instrumentos satelitales con sistemas de microondas pasivos, como el radiómetro de microondas multicanal (*Scanning Multichannel Microwave Radiometer*, SMMR), el sensor especial y generador de imágenes de microondas (*Special Sensor Microwave/Imager*, SSM/I),...



...y el radiómetro avanzado de barrido por microondas (Advanced Microwave Scanning Radiometer, AMSR-E).



En esta sección del módulo examinaremos estas tecnologías, aunque las aplicaciones basadas en las observaciones de los instrumentos que emplean sistemas de microondas activos, como el dispersómetro y el radar de apertura sintética, están creciendo en importancia para las comunidades científica y operativa, y su capacidad de brindar información complemetaria sobre la humedad del suelo parece bastante prometedora.



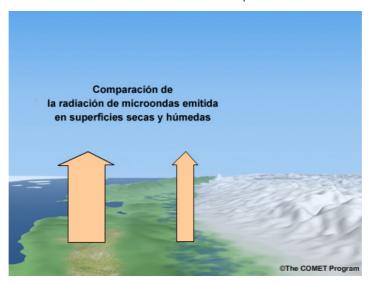
En los futuros satélites NPOESS, la combinación de mediciones de la humedad del suelo con sistemas de microondas pasivos y datos sobre vegetación y tipos de suelos derivados de la Suite de Radiómetro Generador de Imágenes Visibles e Infrarrojas (*Visible and Infrared Imager Radiometer Suite*, VIIRS) permitirá efectuar mejores observaciones de las condiciones de humedad del suelo casi en tiempo real.



# 2.2 ¿Cómo se ven las superficies húmedas y secas desde el espacio?

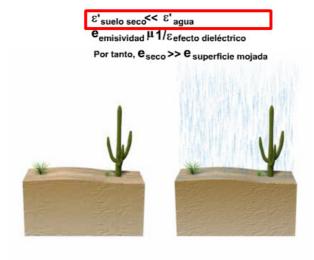
# 2.2.1 Comparación de superficies húmedas y secas

En regiones abiertas con vegetación relativamente escasa, el contenido de humedad del suelo superficial es el factor predominante en las emisiones de radiación de microondas desde la superficie.



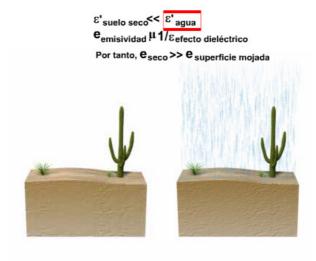
Una de las propiedades electromagnéticas más importantes para la observación de las superficies en la región de microondas es el efecto dieléctrico. Dicho efecto explica la mayor parte de la reflexión y dispersión que ocurre a

medida que la radiación interactúa con las moléculas de la superficie y suele cuantificarse mediante un término conocido como la constante dieléctrica. Encontrará una explicación más detallada del efecto dieléctrico en el módulo complementario Percepción remota por microondas; recursos de microondas (en inglés).



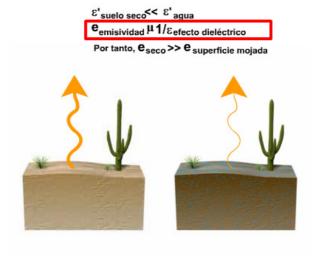
©The COMET Program

La constante dieléctrica del agua es mucho mayor que la del suelo seco y existe una fuerte correlación entre el efecto dieléctrico



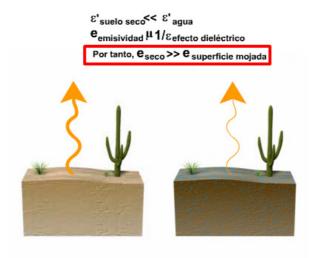
©The COMET Program

y el reflejo (y, por ende, la emisividad). La emisividad es inversamente proporcional al efecto dieléctrico,



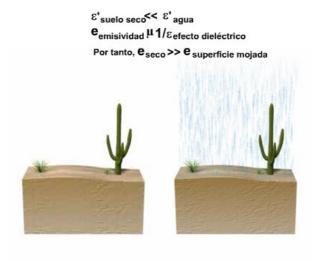
©The COMET Program

de modo que a medida que el efecto dieléctrico (reflejo) aumenta, la emisividad (o eficiencia de emisión) disminuye.



©The COMET Program

La introducción de agua en el suelo produce un aumento drástico en la constante dieléctrica y una correspondiente disminución en la emisividad del suelo. Como veremos más adelante en esta misma sección, esto se puede detectar fácilmente por medio de un sistema de teledetección de microondas pasivo en términos de una temperatura de brillo relativamente fría.

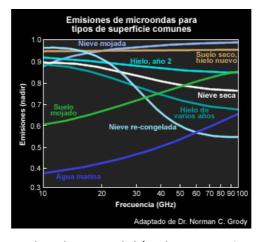


©The COMET Program

Haga clic aquí para ver la animación

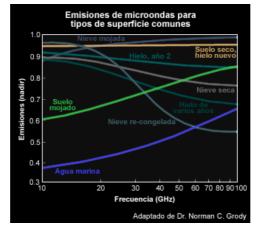
## 2.2.2 Curvas de emisión

Esta gráfica muestra los valores de emisividad de microondas para varias superficies oceánicas y terrestres. Debido a que las temperaturas de brillo del canal de ventana atmosférica están directamente relacionadas con las emisividad de superficie, las observaciones satelitales de la temperatura de brillo se pueden utilizar para cuantificar la emisividad y extraer información sobre varios parámetros de superficie.

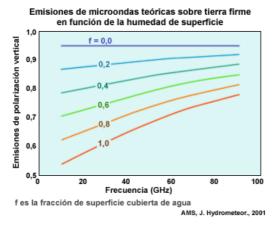


Si por el momento aislamos las curvas de suelo seco, suelo húmedo y agua marina, veremos importantes diferencias entre estos tres tipos de superficies. La emisividad sobre tierra firme puede variar considerablemente según el tipo de

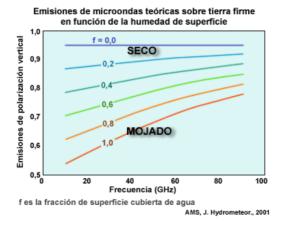
superficie y la frecuencia de emisión de microondas, entre 10 y 100 GHz. Observe cuánto disminuye la emisividad para las superficies húmedas en comparación con el suelo seco, especialmente a frecuencias más bajas.



Esta gráfica muestra la emisividad de radiación con polarización vertical en función de diferentes magnitudes de humedad de superficie.



Estas curvas nos permiten ilustrar dos puntos importantes. En primer lugar, a medida que se introduce agua en una superficie, su emisividad va disminuyendo; en segundo lugar, el efecto es más pronunciado a frecuencias más bajas. Cabe observar que la emisividad aumenta a medida que aumenta la frecuencia y que esta tendencia es especialmente pronunciada en el caso de una superficie mojada.



La mayoría de los algoritmos que calculan alguna medición de humedad de superficie, como los índices de humedad, por ejemplo, aprovechan el cambio en la emisividad de microondas que se observa a medida que se introduce agua. Esto se logra calculando las diferencias de temperatura de brillo entre las frecuencias altas y bajas, o bien comparando cómo una sola frecuencia responde cuando se compara con una observación de referencia correspondiente a condiciones secas. Describiremos más en detalle el proceso de derivar el contenido de humedad del suelo, que es más complicado y normalmente implica el uso de modelos e información climatográfica de la capa de suelo, en un apartado posterior del módulo.

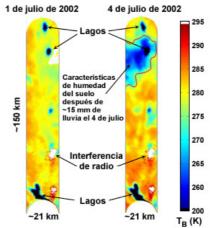
#### 2.2.3 Señal característica de la lluvia

La fuerte reducción en la emisividad asociada con la humectación del suelo se puede detectar con instrumentos de microondas pasivos que incorporan canales de frecuencias más bajas en la región de 6 a 10 GHz, como los sistemas SSM/I y SSMIS, y especialmente con el AMSR-E y los futuros instrumentos de microondas de NPOESS.

Las dos imágenes de 7 GHz de la figura siguiente ilustran claramente cómo la emisividad reducida asociada a los lagos

y al suelo humectado por la lluvia produce temperaturas de brillo más frías cuando se observan con el sensor de un sistema de microondas pasivo. Los valores de emisividad reducidos corresponden a temperaturas de brillo observadas más frías, ya que la temperatura de brillo equivale aproximadamente a la emisividad de un objeto multiplicada por su temperatura física. Al comparar las dos imágenes se nota que los lagos son evidentes regiones frías en ambos días. Sin embargo, en la imagen de la derecha, tomada unos días más tarde, uno de los lagos parece haber crecido, aunque en realidad la señal fría se debe a la humectación del suelo causada por un evento de lluvia reciente.

#### Características de humedad del suelo

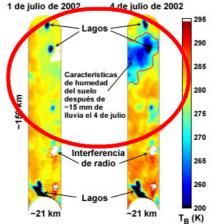


Características de humedad del suelo observadas a aprox. 150 km al NNO de Des Moines, Iowa, el 4 de julio de 2002 con el radiómetro generador de imágenes PSR/CX. La imagen de la zona se generó con el radiómetro de banda C (6-8 GHz).

## 2.2.4 Interferencia de radiofrecuencia

Los canales de bajas frecuencias de microondas, como el canal de 6 GHz del AMSR-E a bordo del satélite EOS Aqua, se prefieren para la extracción de datos de humedad del suelo por su sensibilidad al agua y su capacidad de penetrar el suelo a mayor profundidad. No obstante, algunas de estas mismas bandas de frecuencia de microondas se utilizan también ampliamente para otros fines, como las comunicaciones por microondas con teléfonos celulares o móviles.

#### Características de humedad del suelo

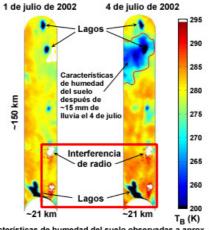


Características de humedad del suelo observadas a aprox. 150 km al NNO de Des Moines, Iowa, el 4 de julio de 2002 con el radiómetro generador de imágenes PSR/CX. La imagen de la zona se generó con el radiómetro de banda C (6-8 GHz).

Este efecto se torna aparente en las temperaturas de brillo de 6 a 7 GHz y se conoce como interferencia de radiofrecuencia o RFI (por las siglas del inglés *radio frequency interference*). Los puntos de fuerte interferencia de radiofrecuencia casi siempre aparecen sobre tierra firme y a menudo en la proximidad de ciudades grandes y carreteras importantes. Estas interferencias contaminan fuertemente los datos empleados para generar ciertos tipos de productos satelitales de microondas, como los de humedad del suelo.

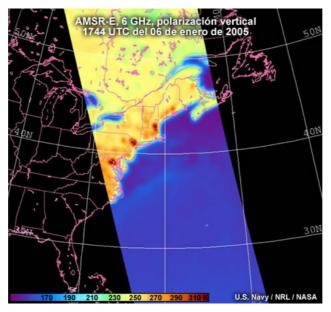
En la parte inferior de las dos imágenes podemos ver cómo una fuente de RFI aumenta artificialmente la temperatura de brillo detectada por el satélite.

#### Características de humedad del suelo



Características de humedad del suelo observadas a aprox. 150 km al NNO de Des Moines, lowa, el 4 de julio de 2002 con el radiómetro generador de imágenes PSR/CX. La imagen de la zona se generó con el radiómetro de banda C (6-8 GHz).

La imagen siguiente, que fue tomada con el canal de polarización vertical de 6 GHz de AMSR-E, muestra claramente las zonas "calientes" de comunicaciones correlacionadas con las áreas metropolitanas principales y los corredores de transporte a lo largo de la costa oriental de los Estados Unidos.

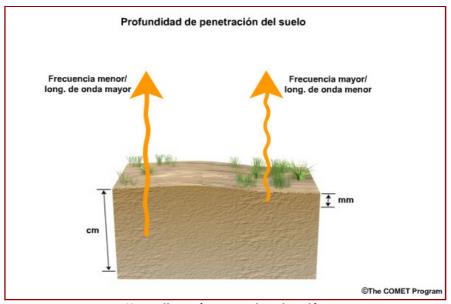


Para mitigar este problema, se está tratando de reservar ciertas frecuencias para uso exclusivo del trabajo de detección satelital y se están diseñando sistemas de detección capaces de minimizar el impacto de las interferencias de microondas existentes.

## 2.2.5 Profundidad de penetración en el suelo en función de la frecuencia

Otra consideración importante a la hora de observar el suelo con longitudes de onda de microondas es la profundidad de penetración, que se define como la capa superior del suelo en la cual se origina el 63 % de la radiación terrestre emitida a una frecuencia o longitud de onda dada.

La profundidad de penetración es mayor para las frecuencias de microondas más bajas (1 a 10 GHz, por ejemplo), porque el suelo absorbe y dispersa las longitudes de onda mayores en menor medida. En contraste, la penetración es considerablemente menor a frecuencias más altas (de 85 a 89 GHz, por ejemplo) y estos canales sólo comunican información sobre la capa superior del suelo de unos milímetros de espesor.



Haga clic aquí para ver la animación

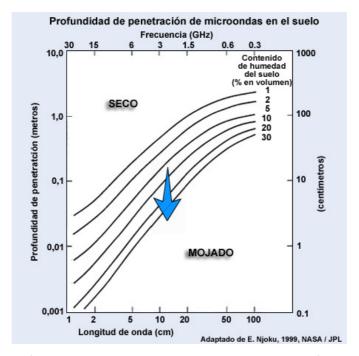
Una buena regla general para las observaciones de suelos relativamente secos con sistemas de microondas pasivos es que la profundidad de penetración equivale aproximadamente a la longitud de onda de la radiación. La tabla muestra las profundidades de penetración aproximadas para las frecuencias de uso común en varios sensores de microondas actuales.

SSM/I, SSMIS, AMSR-E, TMI, WindSat Frecuencia (GHz) / Longitud de onda (cm)	Profundidad de penetración en suelo seco (cm)		
6,8 a 7 GHz, ~4,3 cm	4,5		
10 GHz, 3 cm	3		
19, 23,8 GHz, ~ 1,3 cm	1,4		
85, 89 GHz, ~0,34 cm	0,34		

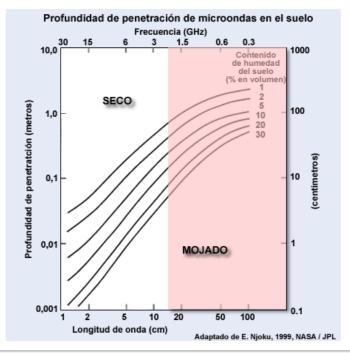
©The COMET Program

# 2.2.6 Profundidad de penetración en el suelo en función del contenido de humedad

Otro factor que influye y limita la profundidad de penetración de microondas en el suelo es el contenido de humedad del suelo. Como muestra esta figura, cuando aumenta el contenido de humedad del suelo, la profundidad de penetración disminuye. Recuerde que una capa de suelo relativamente mojada dispersa y refleja más energía, de modo su emisividad es menor en comparación con un suelo seco. Este mayor grado de dispersión y reflexión bloquea parte de la radiación e impide que alcance la superficie, de modo que un satélite percibe progresivamente menos energía de capas cada vez más profundas.



Observe que la gráfica también nos permite observar la ventaja de usar frecuencias más bajas (longitudes de onda mayores), por su capacidad de penetrar a mayor profundidad en el suelo.

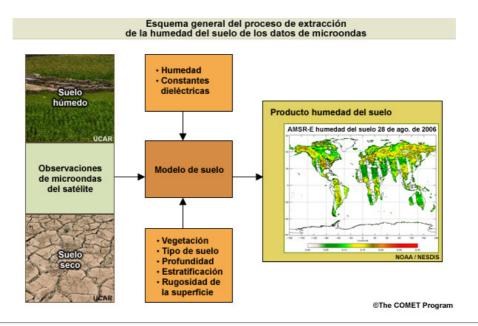


## 2.3 De la observación a los productos

## 2.3.1 Extracción de los datos de humedad del suelo

La extracción de información cuantitativa sobre la humedad del suelo es un proceso relativamente complejo que toma en cuenta una serie de factores y limitaciones y luego combina las observaciones satelitales y convencionales con información a priori dentro del marco de un modelo de suelo. Podemos citar como ejemplos de información a priori el tipo de superficie, la composición del suelo, la estructura del suelo y los perfiles climatológicos de temperatura y humedad.

Este diagrama de flujo ilustra los varios componentes y el flujo de información de un proceso general de extracción de un producto de humedad del suelo similar al producto AMSR-E que se muestra a la derecha.



# 2.3.2 Factores que complican el proceso de extracción de datos

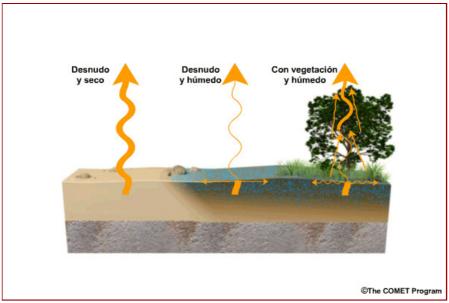
En el caso de una superficie plana, nivelada y desnuda con una composición del suelo conocida, el procedimiento de extracción de la humedad de superficie a partir de la temperatura de brillo de microondas es relativamente sencillo y exacto.

Desgraciadamente, a menudo la percepción remota de los parámetros del suelo en todo el globo presenta retos considerables. La vegetación dificulta las mediciones y la composición del suelo no suele ser poco homogénea y accidentada.



©The COMET Program

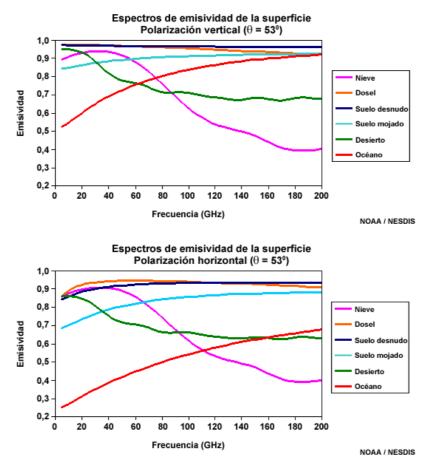
La vegetación y la rugosidad de la superficie interfieren con la señal emitida por la superficie terrestre. La vegetación emite su propia radiación de microondas, que puede confundirse con la emisión del suelo que se desea capturar. Como muestra la figura, la vegetación aumenta la emisividad de una superficie que, en realidad, está mojada. Esto aumenta la temperatura de brillo de microondas observada y da a la superficie una apariencia más seca de lo que es.



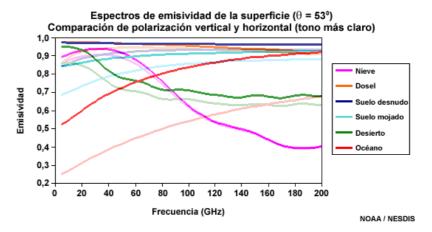
Haga clic aquí para ver la animación

# 2.3.3 Minimización de los impactos y estimación de la temperatura de superficie

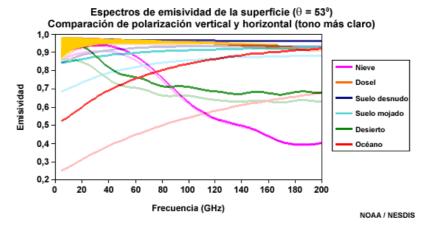
Afortunadamente, la rugosidad de la superficie y la vegetación producen efectos de polarización muy específicos en la señal de microondas, lo cual significa que podemos comparar varias frecuencias y las polarizaciones vertical y horizontal para distinguir los efectos de la vegetación y la rugosidad de la superficie de los de la humedad de la superficie. A medida que una superficie se humedece, el grado de polarización se vuelve más pronunciado, especialmente a frecuencias más bajas.



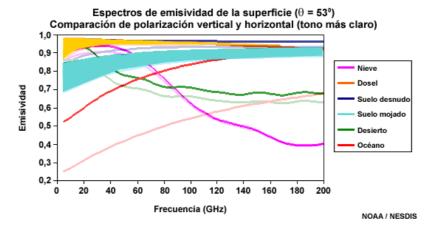
Esta gráfica resalta las diferencias de emisión con polarización vertical y horizontal de una superficie mojada.



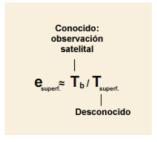
Cuando el suelo está cubierto por un dosel vegetal, se nota cierto grado de polarización a frecuencias más bajas,



pero el grado de polarización es menor en comparación con el suelo desnudo mojado. Observe además que la emisividad del dosel vegetal es mayor.



Para estimar la emisividad de la superficie a partir de las temperaturas de brillo detectadas por un satélite necesitamos información a priori sobre la temperatura de superficie. La temperatura de superficie se puede estimar a partir de varias fuentes, incluidos los datos obtenidos in situ y otras mediciones satelitales realizadas con microondas y e infrarrojos.



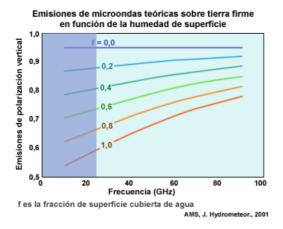
La exactitud no es el aspecto más importante, porque el cambio en la constante dieléctrica debido al contenido de agua es el efecto predominante.

 $\Delta e_{\text{superf.}} = f(\Delta \epsilon', \text{y otros factores menores que cambian más gradualmente con el tiempo)}$ 

### 2.3.4 Selección de canales

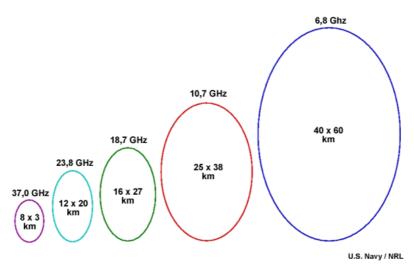
En la mayoría de los casos, la extracción de los datos de humedad del suelo emplea una estrategia común para seleccionar los canales de frecuencia de microondas empleados en sus algoritmos. Las frecuencias de microondas más bajas producen la evaluación más exacta de la humedad de superficie por una serie de motivos.

En primer lugar, como ya vimos la radiación a frecuencias más bajas penetra a mayor profundidad en el suelo y devuelve una señal de "humedad del suelo" más representativa. En segundo lugar, las frecuencias más bajas se ven afectadas en menor medida por la vegetación y la rugosidad de la superficie. Finalmente, el efecto dieléctrico es mayor a frecuencias más bajas (es decir, la emisividad del suelo mojado es menor).

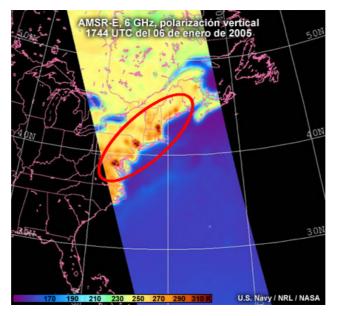


Sin embargo, las frecuencias más bajas tienen varias limitaciones, y la principal está relacionada con su resolución espacial, que es intrínsecamente más baja, de modo que estos canales requieren una huella más grande para detectar las mismas estructuras. Encontrará material pertinente a esta explicación en las secciones 6.5 y 3.6 del módulo Percepción remota por microondas: recursos de microondas (en inglés).

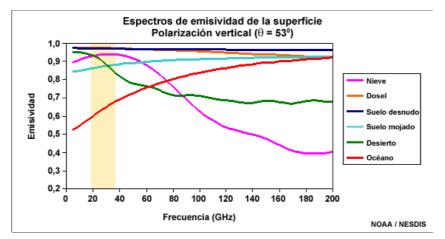
#### Huellas de los canales de microondas de WindSat



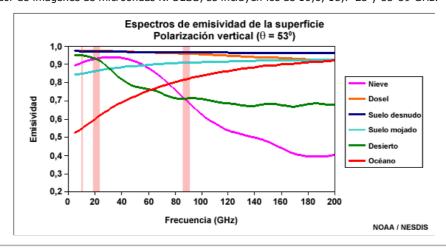
Las frecuencias más bajas son también vulnerables a interferencia de radiofrecuencia cerca de 7 GHz. Esto es particularmente común sobre Norteamérica, debido a la asignación de ciertas frecuencias a los teléfonos celulares.



Recurrimos a varias estrategias para minimizar estas limitaciones. Las frecuencias intermedias, principalmente de 18 a 37 GHz, se emplean como parte de un enfoque multicanal para maximizar la exactitud y la resolución. Además de la resolución espacial más alta que ofrecen los canales de frecuencia más alta, estos canales son más sensibles a los efectos de vegetación, terreno complejo y precipitación, motivo por el cual resultan de utilidad en el proceso de separación de los distintos elementos.



Entre los canales de microondas usados en muchos instrumentos pasivos, como SSM/I, SSMIS, AMSR-E, WindSat y el futuro generador de imágenes de microondas NPOESS, se incluyen los de 10,6, 18,7-23 y 85-89 GHz.

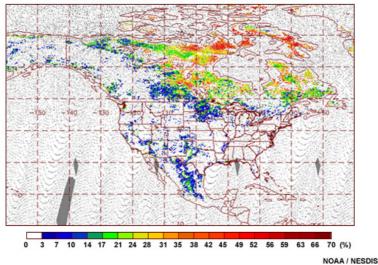


# 2.4 Instrumentos y ejemplos de productos

# 2.4.1 SSM/I y SSMIS, página 1

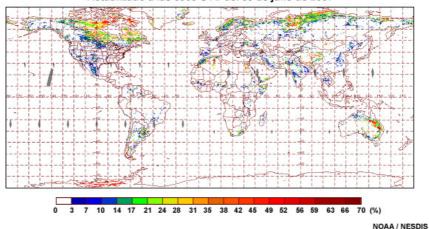
Juntos, los instrumentos SSM/I y SSMIS han creado el registro histórico de mediciones con sistemas de microondas pasivos más largo y a partir de estos datos podemos extraer una enorme gama de productos, como la humedad del suelo. El primer ejemplo muestra un mapa de la humedad del suelo en Norteamérica. Este tipo de producto se genera gracias a un programa de procesamiento de datos compartidos llamado *Shared Processing Program* en el cual varias agencias de Estados Unidos, como la Fuerza Aérea, la Armada y NOAA, comparten sus datos y algoritmos de generación de productos para producir a diario productos compuestos globales de microondas.

Producto SSM/I diario de la humedad del suelo (%), Norteamérica Actualizado a las 09 UTC del 28 de junio de 2007



El producto humedad del suelo brinda una indicación del grado de humedad del suelo en las zonas de tierra firme. Los valores que exceden el 70% se consideran erróneos. Se quitan los lagos, ríos y litorales, así como las áreas con un manto de nieve o una capa de hielo, y el producto se actualiza todos los días a las 0900 UTC.

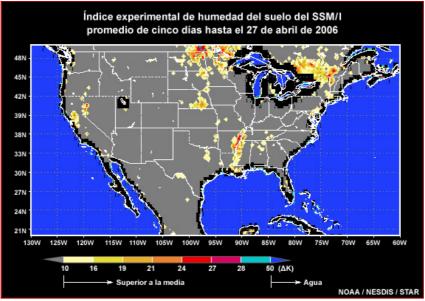
Producto SSM/I diario de la humedad del suelo (%) Actualizado a las 0900 UTC del 09 de julio de 2007



# 2.4.2 SSM/I y SSMIS, página 2

NOAA-NESDIS genera otro producto humedad de superficie para tierra firme, un producto experimental denominado "índice de humedad del suelo" que se basa en las diferencias en las temperaturas de brillo con polarización horizontal de los canales de 85 y 19 GHz del SSM/I (y del SSMIS). Estas diferencias se ajustan a escala de forma selectiva con el fin de destacar diversas condiciones del suelo, como las zonas extremadamente mojadas y las inundaciones.

El producto final es una media móvil de cinco días de los índices de humedad individuales generados para cada día. Los índices se calibran respecto de la humedad del suelo media calculada a partir de estadísticas de píxel basadas en los datos del SSM/I para el período de 1987 a 1996 (no se usan los datos de 1991 debido a problemas con el instrumento). No se muestran las anomalías negativas y las anomalías positivas son indicativas de condiciones más húmedas que la media. En esta breve animación sobresalen las áreas de las regiones del Medio Oeste, el sur de los Grandes Lagos y el valle inferior del río Misisipí, donde a lo largo del período de cinco días analizado hubo Iluvias entre moderadas y fuertes.

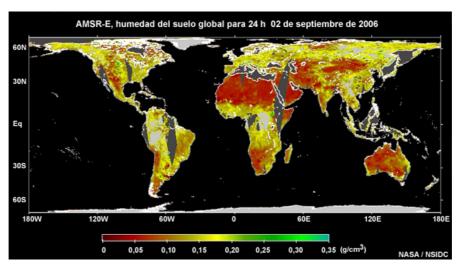


Haga clic aquí para ver la animación

# 2.4.3 AMSR-E, página 1

Los productos humedad del suelo generados con instrumento AMSR-E a bordo de los satélites EOS Aqua en orbita polar representan otra fuente importante de información para monitorizar las tendencias de la humedad de la superficie del suelo. El proceso de extracción de este producto es más complejo, ya que implica el uso de un modelo de suelo, observaciones auxiliares de la condiciones del suelo y una base de datos climatológica que también contribuye a separar los aspectos 'contaminantes' tales como vegetación, selva densa, terreno complejo y rugosidad de la superficie.

Este producto humedad del suelo es una imagen compuesta global diaria de las órbitas diurnas y nocturnas del satélite NASA.



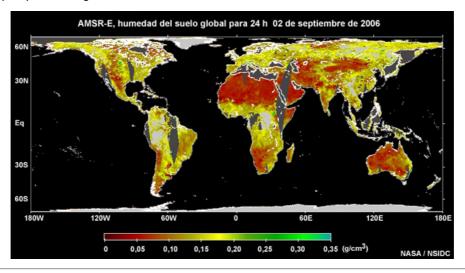
La técnica empleada para generar estimaciones de la humedad del suelo depende de un parámetro conocido como razón de polarización normalizada, que se calcula dividiendo la diferencia en la temperatura de brillo de los canales de polarización vertical y horizontal de 10,7 GHz entre las suma de dichas temperaturas de brillo.

Razón de polarización  
normalizada en 10,7 GHz = 
$$\frac{(T_{bv} - T_{bh})}{(T_{bv} + T_{bh})}$$

A medida que la humedad del suelo aumenta, la diferencia en la polarización (numerador) aumenta y la razón se vuelve más grande.

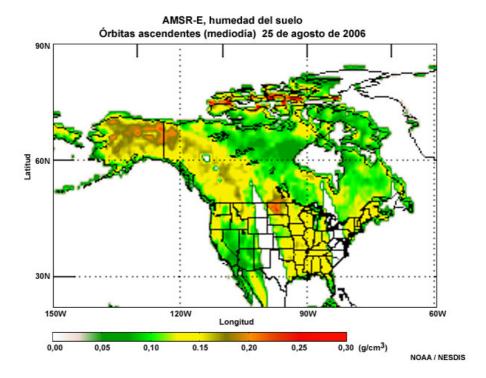
Los valores de humedad del suelo se calculan en términos del desvío de la razón de polarización de 10,7 GHz desde un valor basal mínimo que se calcula en cada celda de malla para un ciclo anual. También se utiliza el canal de 18,7 GHz, el cual ayuda a tomar en cuenta el manto vegetal y la rugosidad de la superficie. La ventaja de esta técnica es su capacidad de reducir o incluso eliminar los efectos de la temperatura de superficie y, por tanto, no requiere datos de temperatura auxiliares.

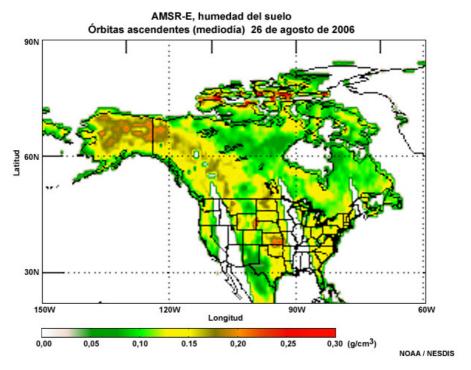
Las regiones relativamente secas se ven de tonos naranja y rojos, mientras que las zonas relativamente húmedas que han recibido precipitación o agua de deshielo recientemente se resaltan con tonos verdes.

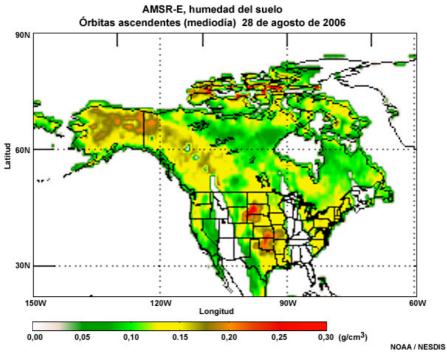


# 2.4.4 AMSR-E, página 2

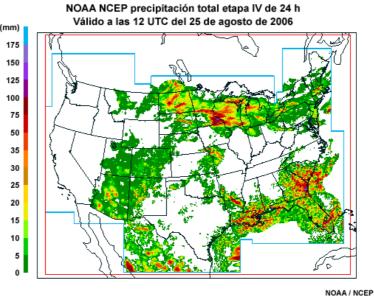
Esta serie de imágenes de la humedad del suelo generadas con datos del AMSR-E ilustran cómo un episodio de lluvia entre moderada y fuerte a lo largo de cuatro días a fines de agosto de 2006 afectó las condiciones de humedad de superficie en algunas partes de la región central de los EE.UU.



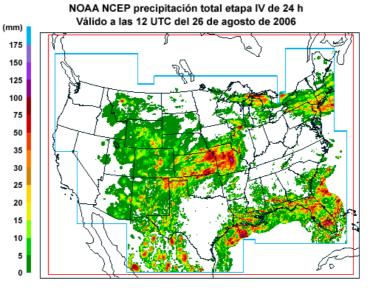




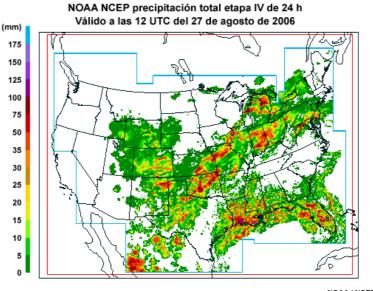
Las imágenes compuestas generadas a partir de datos de radar de superficie y de pluviómetros para 24 horas muestran concentraciones iniciales de lluvia fuerte en una banda a través de los estados de las planicies del norte el día 25 que luego fueron migrando lentamente día por día hacia el sur y el este.



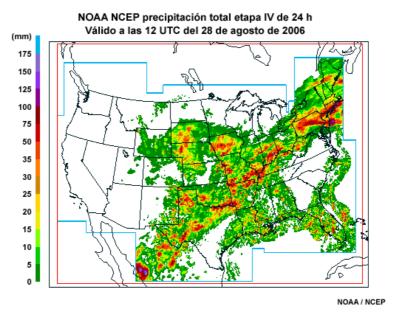
.....



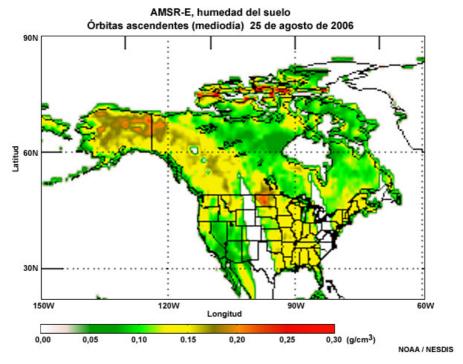
NOAA / NCEP



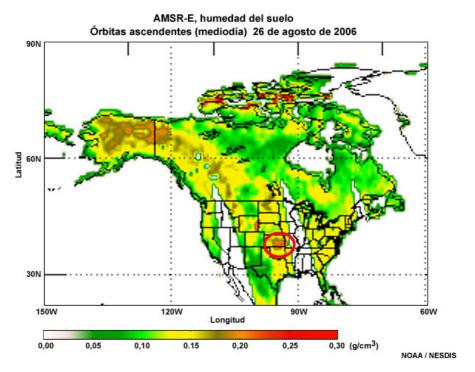
NOAA / NCEP



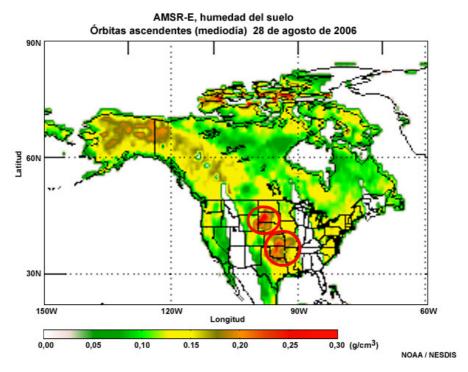
El producto AMSR-E de humedad del suelo muestra la respuesta de las condiciones de superficie frente a la Iluvia y el mayor grado de humedad.



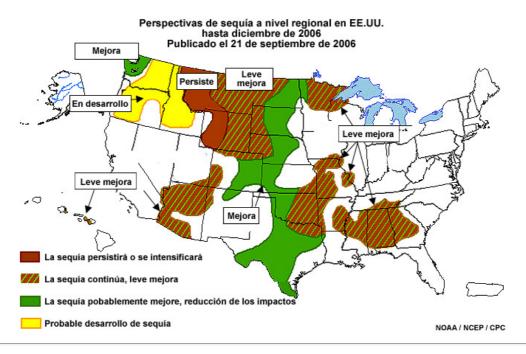
Observe la región de mayor humedad de color naranja a lo largo del estado de Kansas el día 26.



Para el día 28, esa región se ha expandido y ha aparecido otro foco localizado de máxima de humedad del suelo más al norte, a lo largo de una zona de considerable extensión en la región de las planicies del norte.



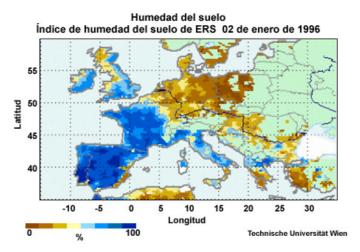
Observe que este período de lluvia fuerte y las lluvias adicionales que cayeron sobre la región a comienzos de septiembre contribuyeron a mitigar las condiciones de sequía que persistían desde mediados del verano.

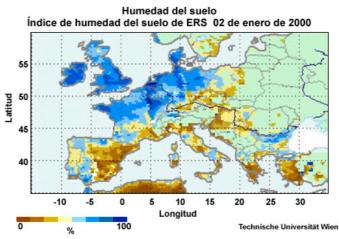


# 2.4.5 Dispersómetro ERS-2 y MetOp ASCAT

Los instrumentos de microondas activos a bordo de los satélites polares ERS-2 y MetOp parecen muy prometedores para solucionar el problema de extracción de la humedad del suelo. La actividad de investigación ha revelado varias aplicaciones emergentes basadas en los datos de dispersómetro que van más allá de la "clásica" derivación de vectores del viento. Juntos, el dispersómetro ERS-2 y el dispersómetro avanzado de MetOp (ASCAT) permiten generar mapas de la humedad del suelo diarios y a nivel mundial.

Los productos humedad del suelo para el mes de enero de dos años diferentes que se muestran continuación son típicos de los que se derivan de los datos del instrumento ERS. Es interesante notar las enormes diferencias en el contenido de humedad del suelo que pueden producirse en distintas partes de Europa en el mismo mes, pero observe además el gran contraste entre las condiciones de 1996 y 2000. ASCAT, a bordo del satélite MetOp-A, es una misión de seguimiento de los dispersómetros ERS-1 y 2 y está planeado el lanzamiento de dos satélites adicionales que permitirán mantener una observación constante al menos hasta el año 2019.





# 2.5 Prestaciones de los instrumentos y características de los productos

## 2.5.1 Sistemas generadores de imágenes de microondas pasivos

Esta tabla presenta un resumen de los sistemas con instrumentos de microondas pasivos que se utilizan actualmente para generar una gama de productos de humedad del suelo. Tenga presente que por lo general los productos humedad de superficie derivados por satélite sólo son válidos para los 2 ó 3 centímetros superiores del suelo, que es la profundidad de penetración típica de las microondas. Para inferir las condiciones de humedad del suelo a mayor profundidad, es preciso recurrir a una combinación de climatografía, observaciones in situ y un modelo de suelo.

Prestaciones de instrumentos de microondas pasivos y características de productos de humedad del suelo

Instrumento (Satélite)	Cobertura	Resolución del sensor	Producto	Rango y exactitud
SSM/I & SSMIS (DMSP)	Cada 12 horas     Los satélites están agrupados para brindar cobertura temprano por la mañana y por la tarde	~ 55 (frecuencia baja) ~ 15 km (frecuencia alta)	Humedad del suelo en superficie (%) (NOAA / NESDIS)     Indice de humedad del suelo (NOAA / NESDIS)	Rango: 0 a 70 %  Exactitud: n/c  Rango: 0 a 50 (<50 = agua)  Exactitud: n/c
AMSU-A (B) y MHS (NOAA-18 y MetOp)	Cada 4 horas     NOAA brinda cobertura temprano por la mañana y por la tarde     MetOp cubre la órbita a media mañana	• 45 (15) km en nadir • 150 (50) en limbo • n/c	Ninguno disponible en la actualidad	n/c
AMSR-E (EOS Aqua)	Cada 12 horas temprano por la tarde y por la noche (el manto de nieve se observa sólo en las órbitas nocturnas)	70 km a 7 GHz 14 km a 37 GHz 5 km a 89 GHz	Humedad del suelo en superficie (NASA, NASDA)	Rango: ~0 a 0,3 g/cm³  Válido: <5 cm de prof.  Exactitud: ~0,043 g/cm³
Futuro generador de imágenes y sonda atmosf. de microondas de NPOESS	<ul> <li>Cada 12 horas a partir del segundo satélite de la serie NPOESS</li> </ul>	~ 70 (frecuencia baja) ~ 14 km (frecuencia alta)	Los detalles de los productos aún no se han establecido	Los detalles de los productos aún no se han establecido

©The COMET Program

# 2.5.2 Sistemas con instrumentos de microondas activos: dispersómetros y SAR

Se está investigando la manera de extraer productos humedad del suelo a partir de las mediciones de los sistemas con instrumentos de microondas activos, como los dispersómetros ERS y MetOp y el radar de apertura sintética (SAR) de los satélites en órbita polar Envisat y RADARSAT.

Si bien su franja de barrido tiende a ser más estrecha, lo cual significa que ofrecen menor repetición de cobertura, las mediciones de los instrumentos activos son de resolución más alta que las de los instrumentos pasivos. Además, las observaciones de los instrumentos de microondas activos no se ven afectadas por la capa nubosa o el vapor de agua.

Prestaciones de instrumentos de microondas activos y características de productos de humedad del suelo

Instrumento (Satélite)	Cobertura	Resolución del sensor	Producto	Rango y exactitud
Dispersómetro ESR	Cada 12 horas, aprox, a mediodía y medianoche local     Difusión directa sólo sobre partes del hemisferio norte	50 km	Humedad del suelo en superficie: <2 cm     Indice de humedad del suelo     Anomalía del indice de humedad del suelo	Rango: 0 a 1 Exactitud: desconocida **Rango: 0 a 100 % Rango: -45 a +45 % Exactitud: depende del modelo
Dispersómetro avanzado ASCAT MetOp	Cada 12 horas a media mañana y media tarde hora local	25 km	Humedad del suelo en superficie: <2 cm     Indice de humedad del suelo     Anomalía del indice de humedad del suelo	Rango: 0 a 1 Exactitud: desconocida **Rango: 0 a 100 % Rango: -45 a +45 % Exactitud: depende del modelo
SAR (radar de apertura sintética) Envisat RADARSAT 1 y 2	1 a 3 días a mediodía y medianoche local	3 m a 1 km	Humedad del suelo de superficie experimental	Rango: 5 a 95 % definido en percentiles entre referencias seca y mojada Exactitud: desconocida

<sup>\*\*</sup> Valores respecto de la cantidad de agua que suele encontrarse en la zona de raíces (0 a 1 m) entre el punto de marchitamiento (0 %) y la capacidad total del suelo (100 %).

©The COMET Program

# 2.5.3 Pregunta

¿Cuáles de los siguientes instrumentos de microondas generan estimaciones diarias de la humedad del suelo o de superficie? Seleccione todas las opciones pertinentes.

- a. SSM/I y SSMIS
- b. AMSR-E

- c. Dispersómetros ERS-2 y MetOp
- d. AMSU y MHS
- e. NPOESS

#### Haga clic aquí para ver las respuestas

Las respuestas a, b y c son correctas; d y e son incorrectas.

**Explicación:** En la actualidad, los datos de los instrumentos pasivos SSM/I, SSMIS y AMSR-E y los dispersómetros activos ERS-2 y MetOp permiten generar productos que dan estimaciones de las condiciones de humedad del suelo o de la superficie. Los instrumentos AMSU y MHS no generan productos de este tipo debido a su falta de canales de polarización y a la complejidad adicional que implica extraer la humedad del suelo de los datos de un instrumento de barrido lateral. Para la futura constelación NPOESS, a partir del segundo satélite NPOESS está planeado un generador de imágenes de microondas de barrido cónico con la capacidad de observar la humedad del suelo.

## 2.5.4 Comparación de instrumentos de microondas activos y pasivos: pregunta

Si comparamos los instrumentos de microondas activos y pasivos, ¿cuáles son algunas de las diferencias importantes que afectan la percepción remota de la humedad del suelo y otras propiedades de superficie? Seleccione todas las opciones pertinentes.

- a. Los instrumentos activos observan a través de una franja más ancha, lo cual significa que hay menos zonas sin cobertura entre órbitas consecutivas.
- b. Al contrario de lo que ocurre con las observaciones activas, las observaciones pasivas pueden verse afectadas por la presencia de nubes (especialmente capas nubosas gruesas de varios niveles) y el vapor de agua.
- c. Los instrumentos pasivos capturan datos con una resolución espacial más alta.
- d. La cobertura de los instrumentos activos se repite con menos frecuencia debido a su ancho de barrido menor.

# Haga clic aquí para ver las respuestas

Las respuestas b y d son correctas; a y c son incorrectas.

**Explicación:** Los instrumentos activos se ven relativamente poco afectados por la capa nubosa y el vapor de agua, porque utilizan frecuencias más bajas. La opción *a* es incorrecta, porque los instrumentos pasivos observan una franja más ancha. La opción *c* es incorrecta porque los instrumentos activos observan con una resolución espacial más alta. Esto se debe a la dificultad de construir antenas espaciales lo suficientemente grandes como para capturar las cantidades relativamente escasas de energía de microondas que emiten la superficie terrestre y la atmósfera.

## 2.5.5 Limitaciones de los productos

Al examinar los productos humedad del suelo o de superficie, cabe tener presente que presentan ciertas limitaciones.

El terreno montañoso, las capas de nieve y de hielo, las zonas arboladas y de con vegetación densa y la precipitación imponen las limitaciones más grandes respecto de generar productos humedad y sus efectos se pueden separar o marcar durante el proceso de extracción.

Aunque en menor medida, la presencia de estos elementos afecta la calidad de los productos: litorales, áreas con lagos y ríos, zonas urbanas y otras regiones que comprenden tipos de superficies muy variables.

- La mayoría de los productos representan la humedad en la capa superior del suelo (0 a ~3 cm). Es posible derivar valores de humedad del suelo a mayor profundidad utilizando un modelo de suelo y datos climatográficos.
- La calidad del producto se degrada en zonas de vegetación o selva densa. Algunos productos quitan estas áreas.
- La extracción de la humedad del suelo es problemática y produce resultados de calidad inferior en zonas de terreno complejo y tipos de superficies muy variables.
- La calidad de los productos se degrada a lo largo de litorales y en áreas con lagos y ríos.
- La extracción satelital de la humedad del suelo es problemática cuando hay precipitación.
- Algunos productos humedad del suelo no incluyen valores cuando existen condiciones de nieve o hielo dentro de la huella del instrumento.

# 2.5.6 Pregunta

¿En cuáles de las siguientes condiciones podemos anticipar estimaciones de microondas de la humedad del suelo relativamente fiables? Seleccione todas las opciones pertinentes.

- a. vegetación o selva densa
- b. terreno complejo
- c. capa superior de 0 a 3 cm del suelo
- d. manto de nieve
- e. condiciones de superficie relativamente planas y homogéneas

### Haga clic aquí para ver las respuestas

Las respuestas c y e son correctas.

Explicación: Las respuestas a, b y d son incorrectas porque representan condiciones de superficie que complican,

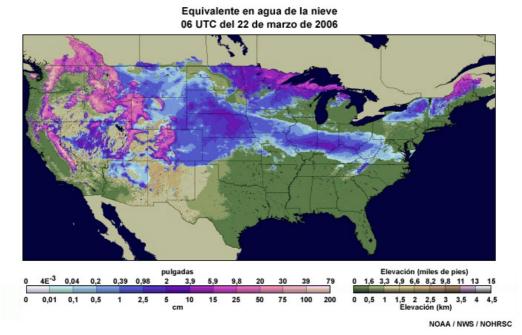
limitan o incluso impiden considerablemente una evaluación confiable de la humedad del suelo con observaciones de microondas.

# 3.0 Manto de nieve y equivalente en agua

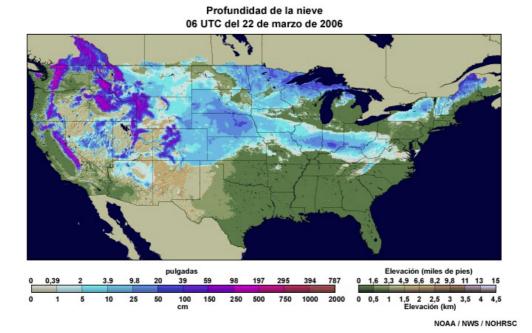
# 3.1 ¿Por qué usar técnicas de teledetección del manto de nieve?

# 3.1.1 La necesidad de datos de manto de nieve, página 1

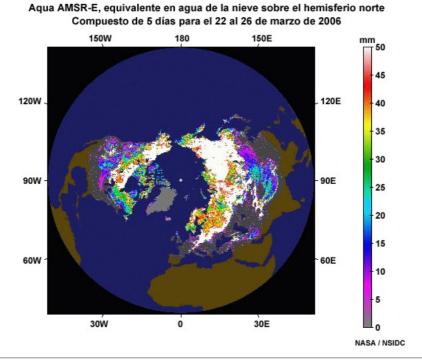
Es esencial estar al tanto del manto de nieve y sus propiedades sobre extensas regiones para trabajar en muchos campos, como el pronóstico de inundaciones, la administración de los recursos hídricos, la producción de energía hidroeléctrica, el modelado de incendios forestales y la observación del clima, entre otros.



Además, la profundidad y la extensión de la capa de nieve acumulada afectan en medida considerable el estilo de vida y la economía de muchas comunidades.



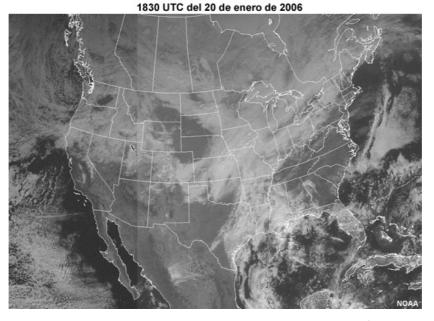
La teledetección del manto de nieve brinda una serie de ventajas frente a las técnicas tradicionales de medición directa in situ. Las observaciones satelitales cubren áreas grandes con una resolución casi uniforme, algo ideal para la generación de mapas y el modelado. Asimismo, los satélites pueden extraer datos para regiones del globo donde obtener mediciones directas puede llevar mucho tiempo e incluso resultar prácticamente imposible.



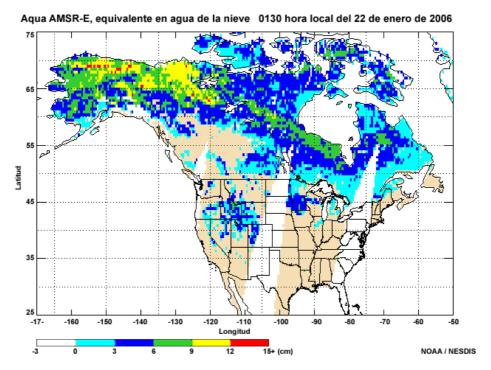
# 3.1.2 La necesidad de datos de manto de nieve, página 2

En relación con la observación del manto de nieve, la capacidad de teledetección por microondas de los satélites en órbita polar brinda muchas ventajas frente a las observaciones convencionales en el visible e infrarrojo.

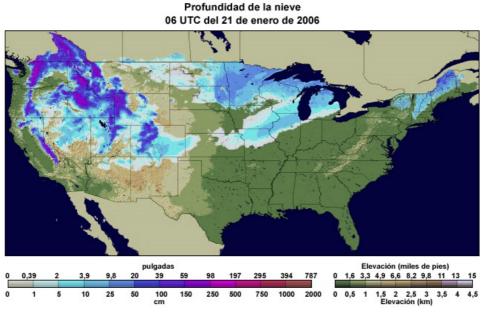
Imagen compuesta del canal visible del GOES East y West



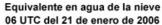
Como la energía de microondas emitida por la capa de nieve acumulada penetra la mayoría de la nubes, se puede observar tanto de día como de noche.

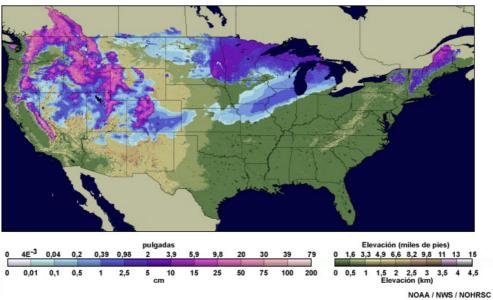


En comparación con la radiación visible e infrarroja, la energía de microondas emitida no proviene únicamente de la superficie de la capa de nieve acumulada, sino de zonas a mayor profundidad dentro de la capa de nieve y es sensible a parámetros tales como profundidad, equivalente en agua de la nieve, temperatura del manto de nieve, condición seca o mojada, y las condiciones del suelo debajo de la capa de nieve acumulada.

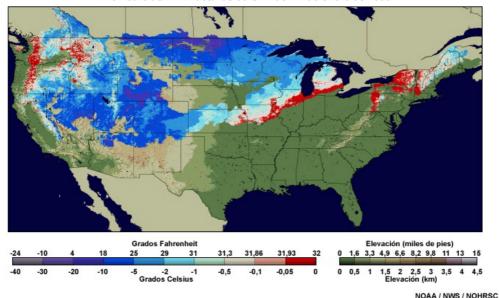


NOAA / NWS / NOHRSC





Temperatura de la capa de nieve Promedio de 24 h hasta las 06 UTC del 21 de enero de 2006



# 3.1.3 Aplicaciones y usuarios

Es esencial contar con cierta información sobre las propiedades de la capa o manto de nieve para varios tipos de trabajo científico y de observación. Además del potencial de mejoras en el pronóstico numérico del tiempo (PNT) y las observaciones climáticas, los datos de nieve obtenidos por satélite se utilizan en predicciones meteorológicas a corto plazo de temperatura, formación de nubes bajas y condiciones peligrosas tales como ventiscas y deshielo rápido que pueden provocar crecidas.

Los parámetros de nieve basados en microondas son importantes para pronosticar el potencial de inundaciones con muchas semanas de anticipación a la temporada de deshielo en cuencas y áreas de escorrentía. También podemos evaluar el peligro de sequía y el potencial de incendios forestales y en zonas despobladas sobre la base de una perspectiva amplia de la cantidad de agua disponible. Esta misma información es importante para la agricultura y la administración de los recursos hídricos, especialmente en regiones semiáridas.

La extensión del manto de nieve y las propiedades de la nieve son factores importantes del sistema climático mundial. La cobertura global que brindan los satélites en órbita polar se usa ampliamente en la investigación climática para comprender mejor el comportamiento del clima, los mecanismos de retroalimentación y los posibles resultados del cambio climático. En la actualidad, la percepción remota con los instrumentos de microondas a bordo de satélites en órbita polar es la única forma en que podemos obtener mediciones globales de los parámetros de nieve esenciales para el análisis y modelado del clima variable de la Tierra.

#### Usos de los datos de manto de nieve

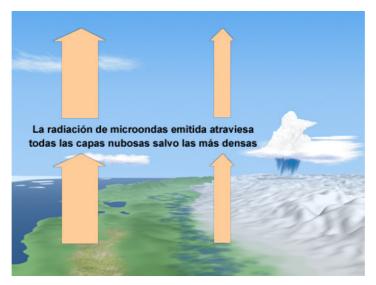
Escala temp.	Aplicaciones	Campos
Días	Predicciones diarias del tiempo, hidrología, transporte:  • pronósticos de:  • temperaturas máximas y mínimas  • formación de nubes bajas y niebla  • acumulación de nieve, engelamiento de carreteras, potencial de ventiscas de nieve  • tendencias en las condiciones de la capa de nieve  • evaluación del peligro de avalanchas  • escorrentía, potencial de deshielo rápido e inundaciones  • recreo	Meteorología en regiones afectadas por la nieve     Predicción numérica del tiempo e hidrológica     Hidrología     Transporte y comercio     Administración de emergencias     Rescate y salvamento     Sector de generación de energía     Recreo
Semanas	Pronóstico, observación y administración:  • tendencias en las condiciones de la capa de nieve  • estimación de deshielo primaveral y recursos hídricos  • administración de cuencas hidrológicas  • aqua de superficie para vegetación, cultivos y personas  • peligros potenciales, como inundaciones, sequías  • incendios  • escorrentía a gran escala  • generación de energía hidroeléctrica  • recreo	Hidrología y climatología     Predicción numérica del tiempo, del clima e hidrológica     Modelado de la circulación general     Gestión forestal     Agricultura     Sector de generación de energía     Recreo
Años	Observación de la cobertura de nieve mundial para:  • tendencias climáticas globales y regionales  • observación y predicción del clima a largo plazo  • distribución global de la energía  • administración de recursos hídricos	Modelado, predicción e investigación climática     Modelado de la circulación general     Transporte y comercio

©The COMET Program

## 3.2 ¿Por qué usar técnicas de teledetección del manto de nieve?

## 3.2.1 Emisiones de microondas: interacción con la superficie terrestre y el manto de nieve

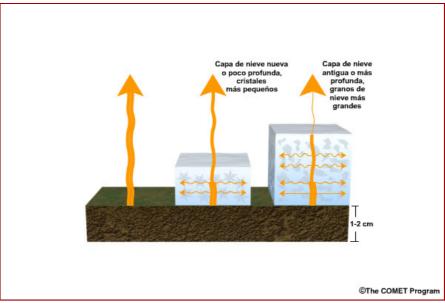
La cantidad de radiación de microondas emitida por la superficie terrestre se ve fuertemente afectada por la presencia y las propiedades del manto de nieve. La capacidad de los instrumentos de microondas de penetrar la capa nubosa y operar tanto de día como de noche permite detectar variaciones en las condiciones de la capa de nieve en cualquier momento.



#### 3.2.2 Atenuación por dispersión

El manto de nieve y sus propiedades afectan en gran medida la cantidad de radiación de microondas que alcanza el sensor satelital. La estructura del hielo es muy diferente de la del agua líquida y de la mayoría de los suelos y las rocas. Por esta razón, la radiación saliente emitida por la superficie debajo de la nieve se ve alterada considerablemente por los cambios que con el tiempo se producen en la capa de nieve acumulada. La comprensión de la relación entre las emisiones de microondas y la dinámica de la capa de nieve acumulada nos permite estudiar las propiedades debajo de la superficie.

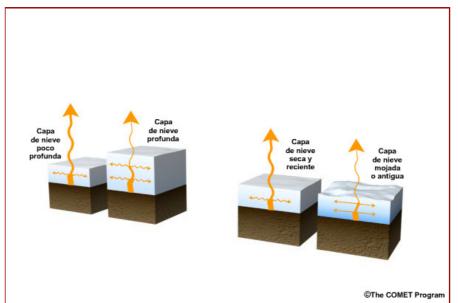
La animación siguiente muestra que los granos de nieve que se forman a medida que la capa de nieve acumulada envejece o crece son lo suficientemente grandes como para dispersar de manera eficaz la radiación de microondas. Los granos de nieve son cristales de hielo que se han sufrido una transformación (metamorfosis) de copos de nieve a partículas más grandes a través de un proceso termodinámico que comienza casi inmediatamente después de que los copos de nieve se acumulen en el suelo. A medida que la capa de nieve acumulada envejece, los granos de nieve pasan a predominar sobre los cristales de nieve y crecen en tamaño, volviéndose dispersores incluso más eficaces. Debido a este efecto de dispersión, el suelo debajo del manto de nieve parece emitir mucho menos energía de microondas (y parece más frío cuando se consideran las temperaturas de brillo) que el suelo desnudo de la misma temperatura.



Haga clic aquí para ver la animación

## 3.2.3 Atenuación por dispersión: profundidad y densidad de la nieve acumulada

Como muestra la animación de la izquierda, cuanta más nieve en la superficie, tanto mayor la dispersión y atenuación resultantes. En la animación de la derecha, observe que a medida que aumenta la densidad de la capa de nieve acumulada, también aumenta la cantidad de energía dispersada y atenuada. Por consiguiente, los cambios en la cantidad de nieve en la superficie medidos por teledetección se pueden interpretar ya sea como cambios en la profundidad de la nieve acumulada (animación de la izquierda) o en la densidad de la nieve (animación de la derecha).

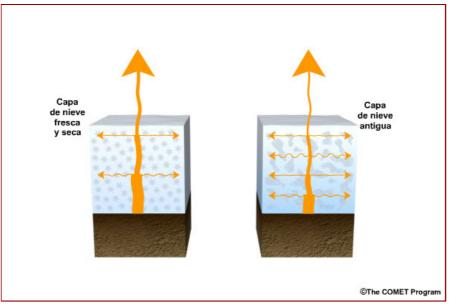


Haga clic aguí para ver la animación

## 3.2.4 Atenuación por dispersión: tamaño de los granos

La cantidad de radiación de microondas dispersada también se ve afectada por el tamaño de los granos de las partículas de nieve en relación con la longitud de onda de la radiación de microondas. Las partículas dispersan más radiación conforme su tamaño se aproxima a la longitud de onda de la radiación.

Para concebir este efecto, podemos observar dos capas de nieve de condiciones diferentes. Supongamos por el momento que la longitud de onda de la energía es igual en ambos casos contemplados. En una capa de nieve fresca y seca (ilustrada a la izquierda), los cristales tienden a ser pequeños en comparación con la longitud de onda de la radiación de microondas y la cantidad de energía dispersada es relativamente moderada. Sin embargo, a medida que las partículas se vuelven más grandes y se aproximan a la longitud de onda de la radiación, como ocurre con los granos de nieve de una capa de nieve más antigua, se dispersa una mayor cantidad de radiación de microondas y la capa de nieve acumulada parece más fría (es decir, se observa como una temperatura de brillo menor).

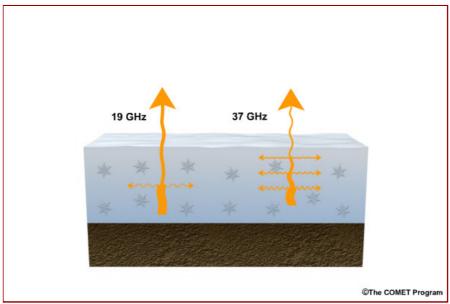


Haga clic aquí para ver la animación

# 3.2.5 Dependencia de la longitud de onda

La cantidad de dispersión producida por la capa de nieve acumulada también depende en gran medida de la longitud de onda de la radiación. Como ya vimos, la longitud de onda de la radiación de frecuencia más alta (10 a 150 GHz, es decir, el rango de microondas) se acerca al tamaño medio de la mayoría de las partículas de nieve, lo cual produce un aumento en la dispersión de la radiación emitida y un enfriamiento aparente. A la inversa, a frecuencias más bajas (longitudes de onda mayores), cuya longitud de onda excede el tamaño medio de las partículas de nieve, se dispersa menos radiación.

Debido a la menor cantidad de dispersión a longitudes de onda mayores, la radiación de microondas puede originarse de lugares a mayor profundidad en la capa de nieve acumulada y por lo general brinda más información sobre las propiedades tales como el equivalente en agua de la nieve. Como veremos en un momento, sin embargo, esto implica sacrificar algo.

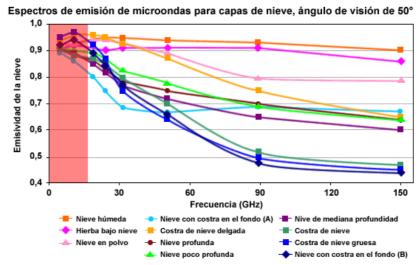


Haga clic aquí para ver la animación

# 3.2.6 Selección de canales: 37 GHz

Esta gráfica nos permite ver la gran medida en que la energía de microondas emitida por un manto de nieve depende de la longitud de onda, y esta dependencia es el factor principal que nos permite emplear técnicas de diferenciación de canales para recuperar información sobre las condiciones de la capa de nieve. El canal de 37 GHz se utiliza ampliamente en la teledetección de nieve debido a la fuerte caída de la temperatura de brillo de la capa de nieve en comparación con el suelo desnudo.

Como muestra la gráfica siguiente, las longitudes de onda más largas (frecuencias por debajo de 19 GHz) no responden tan bien a las variaciones en el equivalente en agua de la nieve.

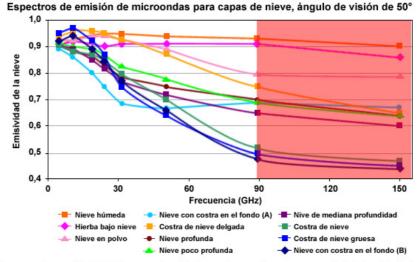


Nieve con costra en el fondo (A): nieve cuya metamórfosis a creado una costra gruesa y espesa (~40 cm) en el fondo de la nieve fresca de invierno.

Nieve con costra en el fondo (B): nieve antigua que se ha vuelto a congelar sobre el suelo helado (6 a 15 cm).

Adaptado del Dr. Fuzhong Weng, 2003, NOAA/NESDIS

Por otra parte, las longitudes de onda más cortas no alcanzan la misma profundidad de penetración en la capa de nieve acumulada, de modo que puede perderse parte de la información. Por eso se suelen evitar las bandas más allá de 89 GHz.

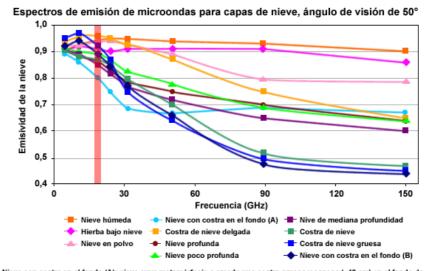


Nieve con costra en el fondo (A): nieve cuya metamórfosis a creado una costra gruesa y espesa (~40 cm) en el fondo de la nieve fresca de invierno.

Nieve con costra en el fondo (B): nieve antigua que se ha vuelto a congelar sobre el suelo helado (6 a 15 cm).

Adaptado del Dr. Fuzhong Weng, 2003, NOAA/NESDIS

También se evita el uso del canal de 22 GHz, debido a la fuerte atenuación por el vapor de agua. La radiación de superficie emitida en esta frecuencia se ve muy reducida en la presencia de vapor de agua atmosférico.



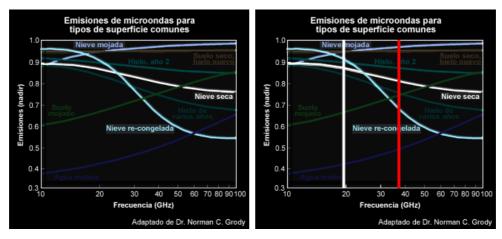
Nieve con costra en el fondo (A): nieve cuya metamórfosis a creado una costra gruesa y espesa (~40 cm) en el fondo de la nieve fresca de invierno.

Nieve con costra en el fondo (B): nieve antigua que se ha vuelto a congelar sobre el suelo helado (6 a 15 cm).

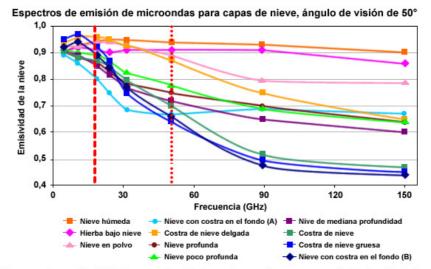
Adaptado del Dr. Fuzhong Weng, 2003, NOAA/NESDIS

# 3.2.7 Selección de canales: enfoque multiespectral y diferenciación de canales

Es frecuente comparar los canales de 37 y 19 GHz para distinguir las características de la capa de nieve.



Los granos y los cristales de nieve dispersan diferentes cantidades de radiación según la longitud de onda y el tamaño de las partículas. Podemos calcular de diferencia entre estos dos canales para determinar ciertos aspectos de la capa de nieve acumulada que serían imposible de discernir utilizando únicamente las observaciones de 37 GHz.



Nieve con costra en el fondo (A): nieve cuya metamórfosis a creado una costra gruesa y espesa (~40 cm) en el fondo de la nieve fresca de invierno.

Nieve con costra en el fondo (B): nieve antigua que se ha vuelto a congelar sobre el suelo helado (6 a 15 cm).

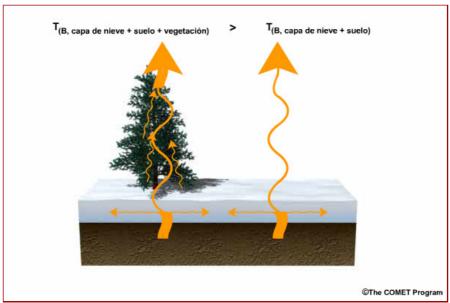
Adaptado del Dr. Fuzhong Weng, 2003, NOAA/NESDIS

## 3.2.8 Obstáculos y limitaciones: vegetación

La teledetección de la nieve no es una ciencia exacta, ni mucho menos. Muchos factores ambientales pueden complicar nuestra capacidad de estimar el equivalente en aqua de la nieve, incluso la capa de nieve en si.

La vegetación emite su propia radiación de microondas. En aquellas zonas donde la vegetación cubre al menos parte de una superficie nevada, la temperatura de brillo detectada por el satélite aumenta. Por lo tanto, las emisiones de las plantas tienden a encubrir la señal del manto de nieve subyacente. Cuanto mayor la densidad de la vegetación, tanto menor la capacidad del satélite de observar el manto de nieve en forma directa. Si aplicamos un enfoque multiespectral al análisis, sin embargo, podemos identificar los efectos de la vegetación y reducir al mínimo la medida en que contamina los datos.

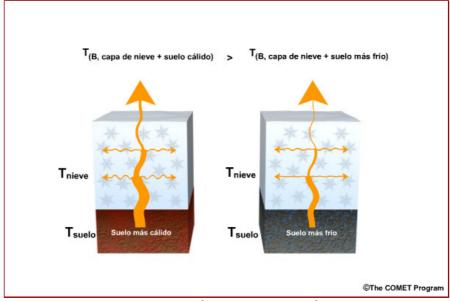
La vegetación también afecta la polarización de la energía que alcanza el sensor del satélite, y en general el dosel de las plantas disminuye la cantidad de diferencia en la polarización entre canales. Típicamente, la diferencia de polarización se cuantifica por medio de observaciones realizadas con los canales de polarización vertical y horizontal, lo cual puede ser de gran utilidad a la hora de identificar las zonas con vegetación dentro de una región cubierta de nieve.



Haga clic aquí para ver la animación

#### 3.2.9 Obstáculos y limitaciones: propiedades del suelo, página 1

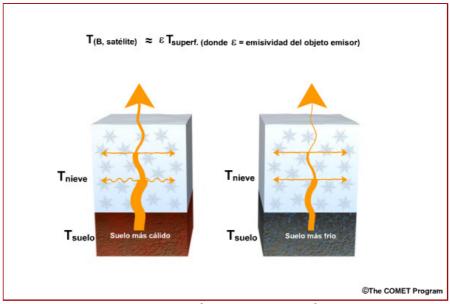
Debido a que la cantidad de radiación de microondas que alcanza el satélite depende de la cantidad de dispersión y atenuación que produce la capa de nieve acumulada, las emisiones de microondas del suelo debajo del manto de nieve pueden afectar enormemente la temperatura de brillo final, que podría interpretarse incorrectamente como cambios en la capa de nieve acumulada. Las propiedades del suelo subyacente se pueden estimar y tomar en cuenta observando las longitudes de onda mayores (frecuencias más bajas) que detectan la energía proveniente del interior del suelo y no se ven afectadas en la misma medida por la dispersión del manto de nieve como las longitudes de onda más cortas (frecuencias más altas).



Haga clic aquí para ver la animación

#### 3.2.10 Obstáculos y limitaciones: propiedades del suelo, página 2

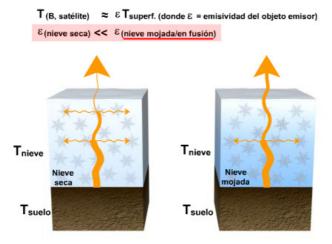
En la región de microondas del espectro electromagnético, la emisión es proporcional a la emisividad multiplicada por la temperatura del cuerpo emisor. Por lo tanto, se precisa cierto conocimiento de la temperatura de superficie para interpretar la señal satelital con exactitud en términos de una propiedad física, como el equivalente en agua de la nieve. La temperatura de superficie se puede estimar a partir de observaciones in situ y otros métodos de extracción de datos satelitales.



Haga clic aquí para ver la animación

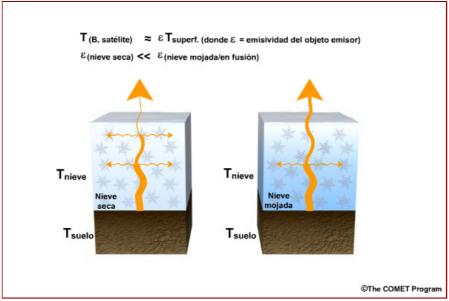
## 3.2.11 Obstáculos y limitaciones: propiedades de la nieve seca/húmeda

La emisividad de la nieve húmeda que está fundiéndose es mucho mayor que la de la nieve seca. La introducción de agua líquida en la superficie de los granos de nieve dentro de la capa de nieve acumulada aumenta considerablemente la absorción y emisión de la energía de microondas. La fusión también aumenta el tamaño de las partículas de la capa de nieve en relación con las longitudes de onda de microondas empleadas por los instrumentos pasivos de percepción remota de forma tal que la cantidad de energía dispersada es menor.



©The COMET Program

Si no se toma en cuenta la combinación de estos dos efectos, el satélite subestima la profundidad de la nieve acumulada.

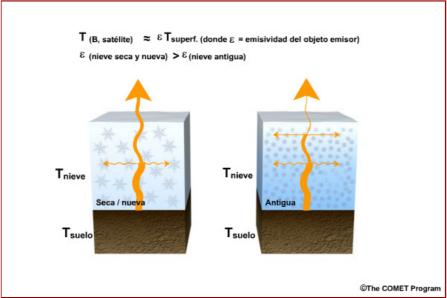


Haga clic aquí para ver la animación

#### 3.2.12 Obstáculos y limitaciones: propiedades de la nieve, estratificación

A medida que la capa de nieve acumulada envejece, tanto la densidad como el tamaño de las partículas de hielo aumentan. Esto tiende a aumentar la cantidad de dispersión provocada por el manto de nieve, aunque en realidad el equivalente en agua de la nieve puede seguir aproximadamente igual.

Todos estos factores tienden a confundir y complicar las estimaciones del manto de nieve y el equivalente en agua de la nieve. Se están estudiando métodos para extraer los datos deseados con técnicas multiespectrales y de multipolarización.



Haga clic aquí para ver la animación

## 3.2.13 Pregunta

¿Cuáles de las siguientes características de la superficie y la capa de nieve afectan las mediciones del equivalente en agua de la nieve? Seleccione todas las opciones pertinentes.

- a. composición del suelo
- b. tamaño y densidad de los granos de nieve
- c. condición seca o mojada de la capa de nieve
- d. vegetación
- e. antigüedad de la capa de nieve

#### Haga clic aquí para ver las respuestas

Las respuestas b, c, d y e son correctas.

**Explicación:** La respuesta *a* es incorrecta. La composición del suelo no es un factor que afecta en gran medida la medición del equivalente en agua de la nieve. Nos interesa mucho más la temperatura del suelo, la cual puede afectar en forma directa y considerable la temperatura de brillo de las observaciones de microondas. La composición del suelo

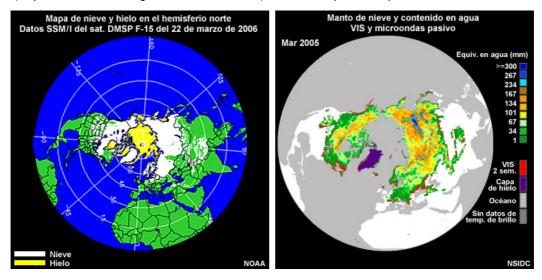
juega un papel mucho más importante en determinar el contenido de humedad del suelo. Encontrará una explicación más a fondo de este tema en la sección sobre humedad del suelo.

#### 3.3 Instrumentos de microondas

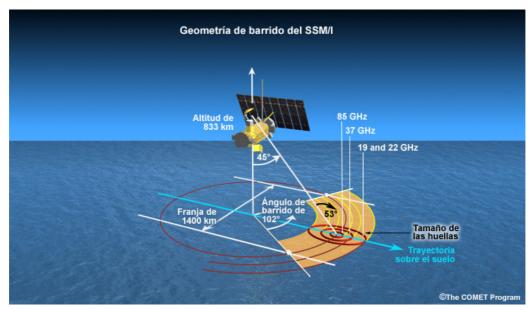
#### 3.3.1 SSM/I y SSMIS

Tanto el SSM/I como el instrumento SSMIS, que es más reciente, han contribuido de forma significativa a varios esfuerzos de generación de mapas mundiales de las capas de nieve y de hielo. El ejemplo a la izquierda muestra una imagen compuesta de 24 horas del análisis de los datos de capa de nieve y de hielo del SSM/I de un único satélite polar DMSP obtenidos el 22 de marzo de 2006. El ejemplo a la derecha también muestra el manto de nieve, pero este producto incluye el equivalente en agua de la nieve y es un promedio mensual de datos compuestos del SSM/I para el mes de marzo de 2005.

Por su capacidad de penetrar la capa nubosa, el sensor de microondas es una importante herramienta complementaria de observación que permite mejorar los análisis de manto de nieve basados en el visible e infrarrojo cercano, especialmente en las regiones de latitudes altas, donde una capa nubosa persistente es común en invierno.



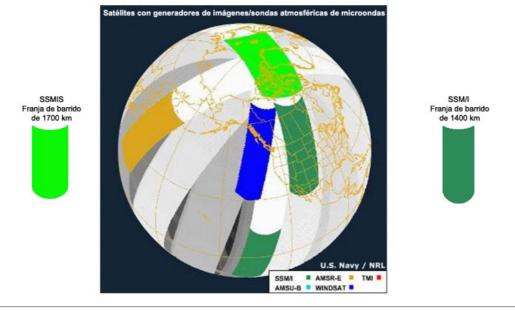
Es importante observar que el SSM/I y el SSMIS son ambos instrumentos de barrido cónico, lo cual significa que la resolución espacial se mantiene constante a través de la totalidad de la franja de barrido. El resultado es que se eliminan las complicaciones relacionadas con una huella de tamaño variable como las de otros instrumentos, como el AMSU, que adoptan una estrategia de barrido lateral.



El satélite DMSP realiza sus observaciones en la madrugada y en las horas de la tarde, al final del día. Esto brinda la importante ventaja de poder observar el estado del manto de nieve cuando es menos probable que estén produciéndose cambios rápidos y condiciones mojadas debido a la fusión de la nieve. Como recordará, cuando la capa de nieve está mojada la emisividad de superficie aumenta, lo cual encubre la condiciones reales en el interior de la capa de nieve acumulada y complica el proceso de extracción de datos.

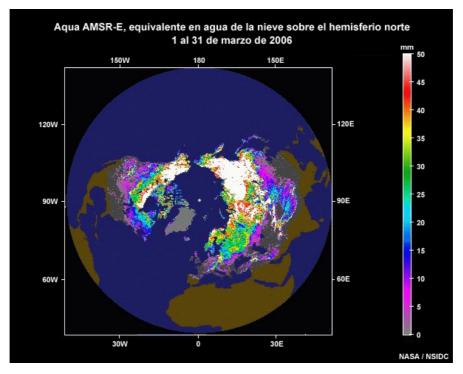
Gracias a su capacidad de detectar la radiación de microondas en las bandas de 19 y 37 GHz, los instrumentos SSM/I y SSMIS están en condiciones de asistir con el trabajo de generación de mapas de manto de nieve y de inferir el equivalente en agua de la nieve. Recuerde que la región de 19 a 37 GHz es particularmente sensible a la dispersión de la radiación de microondas por las partículas de nieve y que en términos generales esta sensibilidad aumenta con

la frecuencia.

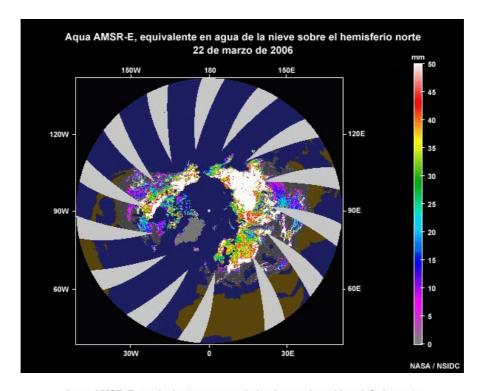


## 3.3.2 AMSR-E

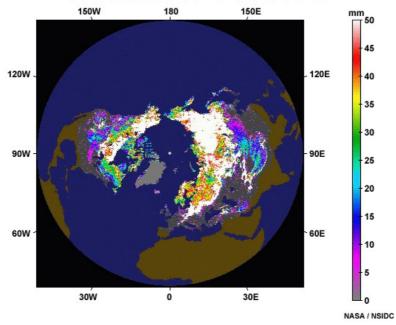
Desde que fue lanzado en el año 2002, el sistema de microondas pasivo AMSR-E a bordo del satélite polar EOS Aqua ha realizado observaciones adicionales de las capas de nieve y de hielo. A igual que los sistemas en órbita polar complementarios SSM/I y SSMIS, el AMSR-E es un instrumento de barrido cónico cuya resolución espacial es constante a través de la franja de barrido.



Los productos manto de nieve compuestos de AMSR-E diarios y de cinco días, como el manto de nieve, la profundidad de la capa de nieve y el equivalente en agua, se pueden obtener del Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielo (National Snow and Ice Data Center, NSIDC) de NOAA.



Aqua AMSR-E, equivalente en agua de la nieve sobre el hemisferio norte Compuesto de 5 días para el 22 al 26 de marzo de 2006

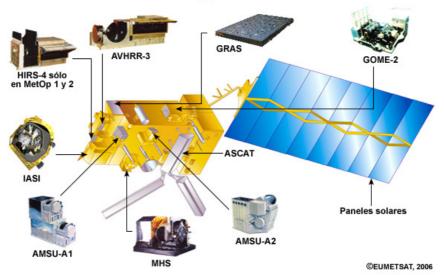


# **3.3.3 AMSU y MHS**

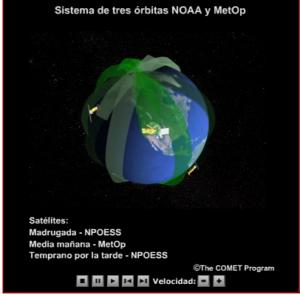
El instrumento de microondas pasivo AMSU está a bordo de los satélites polares de la serie NOAA y MetOp formada a partir de un acuerdo de cooperación entre NOAA y EUMETSAT. AMSU comprende dos instrumentos discretos, el AMSU-A y B a bordo de los satélites anteriores al NOAA-18 y MetOp, y el AMSU-A y la sonda de humedad por microondas (*Microwave Humidity Sounder*, MHS) a bordo de los satélites más nuevos. Cada suite de instrumento cuenta con canales de detección a frecuencias entre 23 y 190 GHz.



Satélite Metop y sus instrumentos

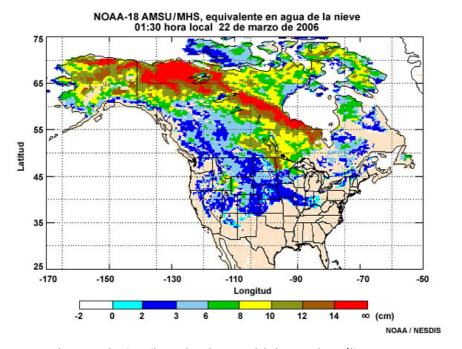


Los instrumentos AMSU y MHS aportan datos para los productos manto de nieve y equivalente en agua de la nieve. La combinación de las órbitas de madrugada y de la tarde de los satélites NOAA y la órbita de media mañana de MetOp permite asegurar una cobertura global y actualizaciones diarias.

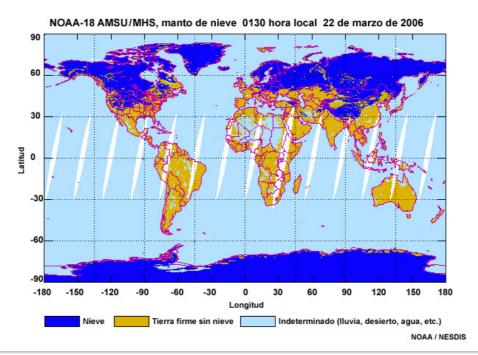


Haga clic aquí para ver la animación

El ejemplo siguiente es un análisis compuesto nocturno del equivalente en agua de la nieve de NOAA-18 para una tormenta que cubrió de nieve una franja entre las Montañas Rocosas y las Planicies Centrales, la zona central del valle del Misisipí y el valle de Ohio y la región central de la costa Atlántico.



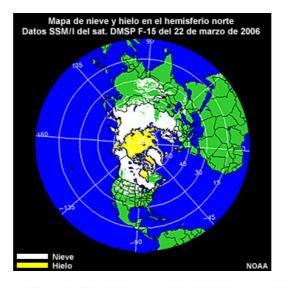
El correspondiente mapa de manto de nieve ilustra la cobertura global que cada satélite genera una vez cada 12 horas.



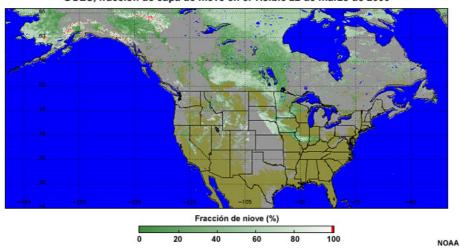
#### 3.4 Productos

#### 3.4.1 NOAA: manto de nieve combinado

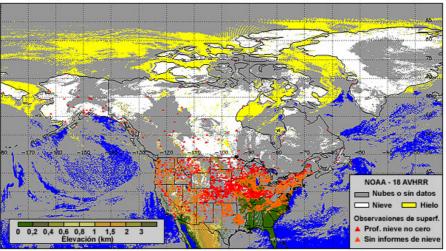
NOAA/NESDIS sintetiza la información sobre manto de nieve proveniente de las observaciones de microondas, visibles, infrarrojas y de superficie...



GOES, fracción de capa de nieve en el visible 22 de marzo de 2006

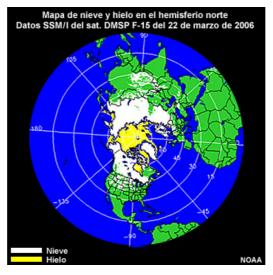


NOAA AVHRR + observaciones de superficie 22 de marzo de 2006



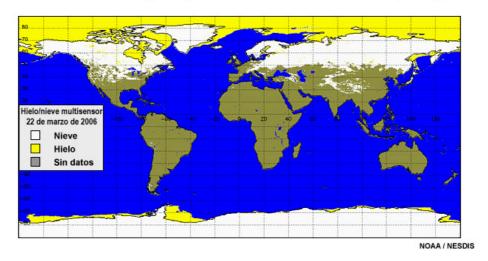
NOAA

...para producir a diario un producto combinado capa de nieve y capa de hielo para el hemisferio norte.



También se genera a diario un producto complementario que expande la cobertura a todo el globo terrestre. El mapa diario multisensor de las capas de nieve y de hielo utiliza las observaciones de superficie y de teledetección de los satélites de EE.UU. y Europa, como MetOp y MSG (Meteosat Segunda Generación).

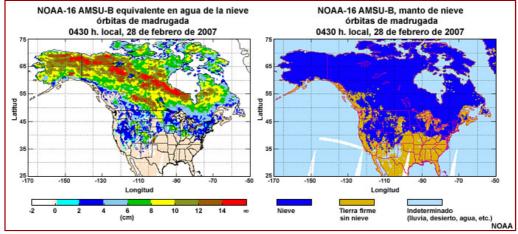
Mapa diario multisensor (NOAA AVHRR, MSG SEVIRI, sonda del GOES, DMSP SSM/I y SSMIS) de cobertura de nieve y hielo (análisis multisensor + observaciones de superficie)



## 3.4.2 NOAA: equivalente en agua de la nieve

A continuación aparece una animación de los productos NOAA-NESDIS manto de nieve y equivalente en agua de la nieve derivados de las observaciones AMSR-E durante un período de una semana en enero de 2007.

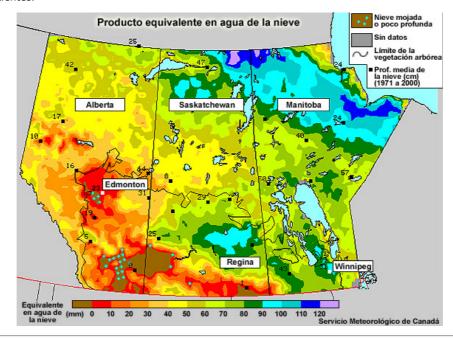
La importancia de las observaciones de microondas y su capacidad de detectar debajo de la capa nubosa resultan particularmente evidentes para las latitudes polares, donde en invierno la capa nubosa puede ser bastante extensa y persistente. Estos tipos de productos son útiles para observar los cambios en las condiciones de la capa de nieve y evaluar el almacenamiento de agua y el potencial de deshielo primaveral.



Haga clic aquí para ver la animación

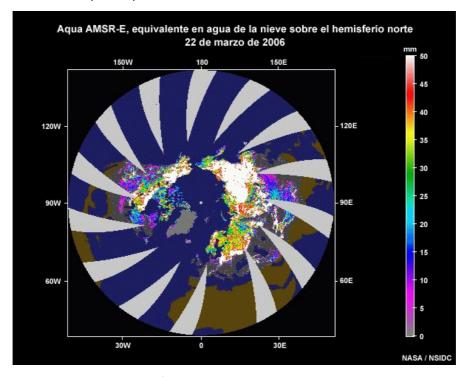
# 3.4.3 MSC (Servicio Meteorológico de Canadá): equivalente en agua de la nieve, compuesto

El Servicio Meteorológico de Canadá (MSC) usa las estimaciones de equivalente en agua de la nieve generadas por los sistemas de microondas pasivos para producir mapas compuestos de alta resolución que se emplean en actividades tales como administración de recursos hídricos, generación de energía hidroeléctrica, pronóstico de inundaciones, agricultura, observación de sequías y modelado de incendios forestales. El producto se utiliza también en meteorología para pronosticar el potencial de condiciones de ventisca y observar los aumentos en la capa de nieve debido a nieves recientes.



# 3.4.4 NSIDC (National Snow and Ice Data Center): imágenes compuestas

Las imágenes compuestas del generador de imágenes de microondas AMSR-E a bordo del satélite Aqua de NASA genera una evaluación de microondas del manto de nieve y el equivalente en agua de la nieve. Esta imagen es un ejemplo típico de la cobertura para un período de 12 horas.

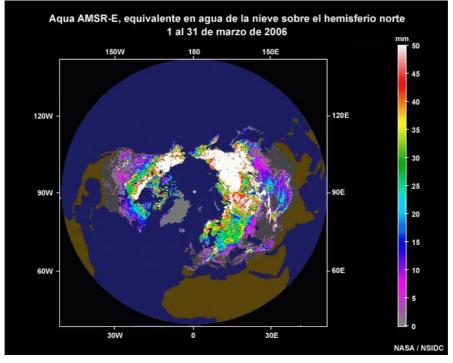


La imagen siguiente es un compuesto de 5 días del manto de nieve y equivalente en agua de la nieve durante la misma semana de marzo de 2006. Observe que como se trata de una imagen compuesta, las zonas sin cobertura han desaparecido, ya que la mayoría de ellas se rellenan al cabo de 24 horas de órbitas ascendentes y descendentes superpuestas y los pocos vacíos que quedan en los trópicos y las latitudes medias se van rellenando con el leve desplazamiento diario hacia el oeste de las órbitas de los satélites.

Compuesto de 5 días para el 22 al 26 de marzo de 2006 mm 50 150W 180 150E 45 120W 120E 40 35 30 90W 90E 25 20 15 60W 60E 10 30W 30E NASA / NSIDC

Agua AMSR-E, equivalente en agua de la nieve sobre el hemisferio norte

Los productos compuestos de varios días generados para períodos incluso más largos, como este producto promedio del equivalente en agua de la nieve de 30 días, son importantes para observar las tendencias estacionales y a plazo incluso más largo de almacenamiento de la nieve a escalas grandes y global.



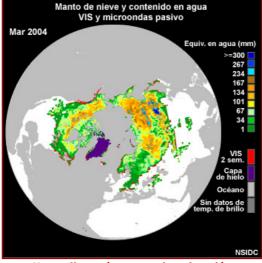
Se trata de un recurso importante en hidrología y administración de los recursos hídricos para el trabajo de seguimiento y predicción del cambio climático a nivel regional y global y para el pronóstico numérico del tiempo a largo plazo. Los productos de teledetección del manto de nieve como éste pueden asimismo jugar un rol importante en extender el historial de datos de mapa de nieve que se comenzó a fines de la década de 1970 con el radiómetro de microondas multicanal (*Scanning Multichannel Microwave Radiometer*, SMMR) de Nimbus-7 y continúa hasta el presente con SSM/I, SSMIS y AMSR-E. La mayor resolución espacial de los instrumentos como AMSR-E y el futuro generador de imágenes de microondas de NPOESS mejorará los mapas de manto de nieve para las zonas arboladas y terreno montañoso.

# 3.4.5 NSIDC: climatografías combinadas

El Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielo (*National Snow and Ice Data Center*, NSIDC) de la Universidad de Colorado en Boulder, EE.UU. incluye climatografías del manto de nieve y el equivalente en agua de la nieve en la suite de productos que genera sobre hielo y nieve. Para las imágenes que se muestran a continuación, se han combinado los datos extraídos de las observaciones de los instrumentos de microondas pasivos con los datos en la longitud de onda visible para producir un producto más realista, de resolución más alta.

La animación utiliza promedios mensuales de las condiciones de manto de nieve entre marzo de 2004 y marzo de

2005. Si bien los datos históricos de los satélites no se extienden tanto hacia atrás como las observaciones, esos datos brindan información sobre regiones para las cuales de otra forma no habría ninguna medición in situ.

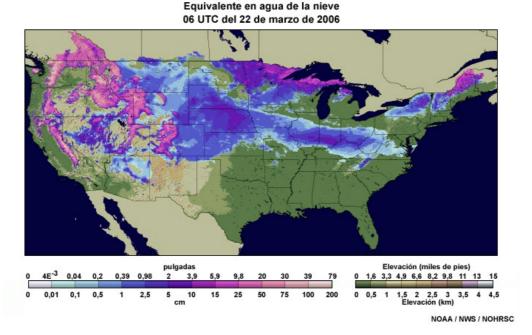


Haga clic aquí para ver la animación

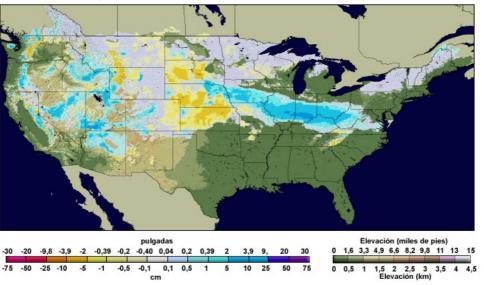
Para seguir extendiendo el conjunto de datos hacia el futuro, se están diseñando productos que incorporan las observaciones de AMSR-E y MODIS para aprovechar las prestaciones espectrales aumentadas y las observaciones a resolución más alta a medida que los nuevos sensores entran en funcionamiento.

#### 3.4.6 NWS: análisis de nieve de NOHRSC

A continuación se muestran varios otros ejemplos de productos manto de nieve combinados. El Centro Operativo Nacional de Teledetección Hidrológica (*National Operational Hydrologic Remote Sensing Center*, NOHRSC) del Servicio Nacional de Meteorología (*National Weather Service*, NWS) de EE.UU. asimila los datos de las observaciones satelitales, terrestres y aéreas, así como la salida de los modelos de PNT, en un modelo de nieve con base en física que produce análisis de manto de nieve y equivalente en agua de la nieve de alta resolución espacial y temporal. Dichos productos, que se consideran operativos, se actualizan a intervalos horarios. Las zonas sin cobertura y la limitaciones en la cobertura satelital se rellenan mediante el modelado de nieve y la asimilación de otros conjuntos de datos.

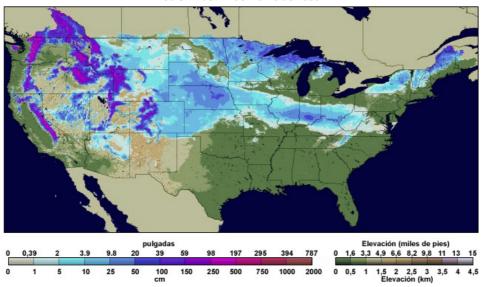


Equivalente en agua de la nieve Cambio en el período de 24 horas que termina a las 06 UTC del 22 de marzo de 2006



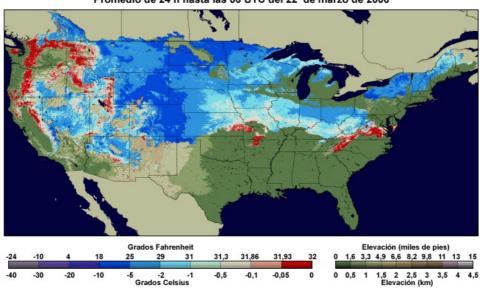
NOAA / NWS / NOHRSC

Profundidad de la nieve 06 UTC del 22 de marzo de 2006



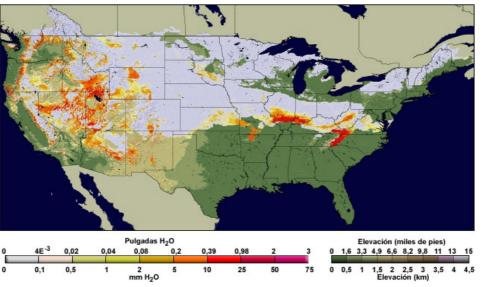
NOAA / NWS / NOHRSC

Temperatura de la capa de nieve Promedio de 24 h hasta las 06 UTC del 22 de marzo de 2006



NOAA / NWS / NOHRSC

#### Derretimiento de la nieve Total en 24 horas hasta las 05 UTC del 22 de marzo de 2006



NOAA / NWS / NOHRSC

#### 3.5 Resumen

#### 3.5.1 Pregunta

¿Cuáles de los siguientes sistemas con instrumentos de microondas pasivos brindan o brindarán mediciones rutinarias del manto de nieve? Seleccione todas las opciones pertinentes.

- a. SSM/I y SSMIS
- b. AMSR-E
- c. AMSU y MHS
- d. generador de imágenes de microondas NPOESS
- e. TMI
- f. SMMR

# Haga clic aquí para ver las respuestas

Las respuestas a, b, c y d son correctas; e y f son incorrectas.

*Explicación:* Se pueden conseguir productos manto de nieve de microondas generados con datos de SSM/I y SSMIS a bordo de los satélites DMSP, AMSR-E a bordo de EOS Aqua y la suite AMSU – MHS A bordo de los satélites NOAA y MetOp. El generador de imágenes de microondas NPOESS está planificado para los satélites NPOESS posteriores y el SMMR estuvo a bordo del Nimbus-7 entre 1978 y 1987. Aunque el TMI a bordo del satélite TRMM cuenta con los canales de la frecuencia necesaria para realizar observaciones del manto de nieve, su órbita casi ecuatorial y su misión de observación de los trópicos soportan productos principalmente relacionados con las características de la superficie oceánica y la lluvia.

#### 3.5.2 Prestaciones de los instrumentos y características de los productos

Esta tabla es un resumen de algunos de los productos manto de nieve más importantes que obtenemos con los generadores de imágenes de microondas de los satélites NOAA, NASA y DMSP y las prestaciones que se esperan para los futuros satélites NPOESS.

#### Características de los productos manto de nieve por microondas

Instrumento (satélite)	Cobertura	Manto de nieve (resolución)	Profundidad de la nieve	Equivalente en agua de la nieve
SSM/I y SSMIS (DMSP)	Cada 12 horas Satélites agrupados para brindar cobertura en la madrugada y por la tarde	25 km	Intervalo: 0 a ~40 cm	Calculado a partir de la profundidad de la nieve Intervalo: 0 a 30 cm Exactitud: 3 cm
AMSU-A, B y MHS (NOAA-18 y MetOp)	Cada 4 horas NOAA brinda cobertura en la madrugada y temprano por la tarde MetOp cubre la órbita de media mañana	45 km en el nadir 150 km en el limbo	Calculado a partir del equivalente en agua de la nieve Intervalo: 0 to ~40 cm	Intervalo: 0 a 30 cm  Exactitud: • 1 cm (para equiv. en agua entre 0 y 10 cm) • > 1 cm (para equiv. en agua mayor de 10 cm)
AMSR-E (EOS Aqua)	Cada 12 horas para la tarde temprano y las hora de la noche (el manto de nieve se observa únicamente en las órbitas nocturnas)	25 km	Intervalo: 0 a < 100 cm Exactitud: 5 cm o 20 %	Calculado a partir de la profundidad de la nieve Intervalo: 0 a 48 cm Exactitud: 1 cm o 20%
Futura sonda atmosférica/generador de imágenes de microondas NPOESS	Cada 12 horas a partir del segundo satélite de la serie NPOESS	~70 km (baja frecuencia) ~ 14 km (frec. más alta)	Detalles del producto a determinar	Detalles del producto a determinar  © The COMET Program

Nota: Las indicaciones de intervalo y exactitud de los productos representan un resumen de los resultados obtenidos de varias fuentes y no se deben aplicar a ningún algoritmo o sistema de extracción en particular.

El instrumento sonda atmosférica/generador de imágenes de microondas que está pensado para NPOESS debería entrar en funcionamiento con el lanzamiento de un segundo satélite alrededor del año 2015 y representará una herramienta importante para seguir acumulando los datos históricos que nos permiten generar mapas de nieve para el trabajo de meteorología operativa, hidrología y climatología.

Note que los datos de intervalo y exactitud de los productos indicados en la tabla representan un resumen de los resultados de varias fuentes y, por tanto, no son necesariamente pertinentes para ningún algoritmo o sistema de extracción en particular. El trabajo de investigación y desarrollo de algoritmos de extracción de datos de manto de nieve para los instrumentos más nuevos, como el AMSR-E, son procesos activos y constantes. Esto implica que es probable que las características de los productos individuales varíen, a veces considerablemente, según quién esté a cargo del trabajo de desarrollo, y que los productos en sí evolucionarán con el tiempo.

## 3.5.3 Limitaciones de los productos

Al estudiar un producto manto de nieve, es preciso tener en cuenta ciertos aspectos que representan limitaciones: el terreno montañoso, la zonas arboladas, la extensiones de hielo y la superficies desérticas frías imponen las limitaciones más significativas para generar productos equivalente en agua de la nieve viables y típicamente se filtran o se identifican durante el proceso de extracción.

Hay otros factores que afectan y limitan la calidad de los productos, como los siguientes: los litorales, donde el campo de visión de un instrumento puede incluir una combinación de superficies terrestres y oceánicas; zonas urbanas y otras regiones con tipos de superficies muy variables; precipitación líquida, porque la precipitación oculta la superficie subyacente; y las condiciones de capas de nieve húmeda o en fase de fusión, porque el agua afecta en gran medida las características de dispersión y emisión de la capa de nieve acumulada.

- En la actualidad no se extraen equivalentes en agua de la nieve para terreno montañoso debido a la variabilidad y geometría compleja.
- La extracción del equivalente en agua de la nieve es problemática sobre suelos congelados, desiertos fríos y capas de hielo (Groenlandia y la Antártida).
  - o Normalmente, las capas de hielo se eliminan o se identifican como tales.
- Los productos están contaminados en zonas arboladas (algunos algoritmos son capaces de corregir parcialmente la cobertura y densidad).
- Los productos están degradados a lo largo de las costas.
- Los productos están degradados en zonas urbanas y otras regiones con tipos de superficies muy variables.
- Los productos no se extraen cuando existe precipitación líquida.
- Los productos no se extraen bajo condiciones de capas de nieve húmeda o en fase de fusión.

#### 3.5.4 Limitaciones de los productos: pregunta

¿En cuáles de las siguientes regiones o condiciones se ve reducida la calidad de los productos manto de nieve? Seleccione todas las opciones pertinentes.

- a. junto a ríos y costas
- b. por la noche
- c. en desiertos fríos
- d. en glaciares/capas de hielo

- e. en terreno complejo
- f. del lado del ecuador a partir de 40 grados de latitud

#### Haga clic aquí para ver las respuestas

Las respuestas a, c, d y e son correctas; b y f son incorrectas.

**Explicación:** La opción *b* es incorrecta porque la presencia de iluminación solar no afecta directamente las observaciones de microondas sobre el manto de nieve. La opción *f* es incorrecta porque no existe ningún obstáculo geográfico que impida la observación del manto de nieve, salvo los intervalos sin cobertura que ocurren entre pasadas consecutivas en la órbita polar en las latitudes medias y bajas.

#### 4.0 Hielo marino

#### 4.1 ¿Por qué usar la percepción remota de hielo marino?

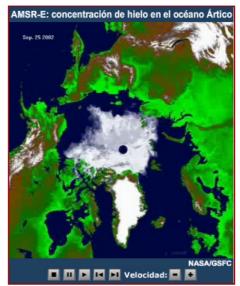
#### 4.1.1 Necesidad de datos de hielo marino

Es esencial contar con una representación exacta del hielo marino para el trabajo de pronóstico meteorológico, observación de ecosistemas, transporte de mercancías y estudio de las economías mundiales. Ciertas tendencias que se han observado en el hielo marino del océano Ártico también subrayan la importancia de las observaciones para nuestra comprensión del sistema climático global y para hacer predicciones relacionadas. Esta animación muestra un ciclo típico de avance y retroceso del hielo marino en invierno a través del hemisferio norte entre fines de 2002 y comienzos de 2003.



Haga clic aquí para ver la animación

Los sensores de microondas en órbita polar constituyen una herramienta que permite observar el estado de la superficie del mar en todas las condiciones meteorológicas. Resultan particularmente eficaces en las regiones polares debido a la gran cantidad de pasadas satelitales que se superponen todos los días. Las nubes, la precipitación y los demás elementos atmosféricos se pueden eliminar de manera eficaz, lo cual nos permite observar la extensión y evolución del hielo marino, como permite apreciar esta animación realizada con imágenes del instrumento de microondas AMSR-E a bordo del satélite EOS Aqua de NASA.



Haga clic aquí para ver la animación

## 4.1.2 Aplicaciones y usuarios

Esta tabla presenta un resumen de las aplicaciones y los usuarios de información sobre hielo marino.

Las aplicaciones abarcan una amplia gama de intereses, entre los cuales podemos mencionar transporte y navegación, pronósticos del tiempo, climatología y observación de ecosistemas. Esta información de usa en navegación, pesca, planificación de transporte, meteorología, investigación climática y otros ámbitos científicos.

Desde el lanzamiento de los satélites en orbita polar Nimbus-7 en 1978, las observaciones por microondas del hielo marino global se han transformado en un importante conjunto de datos de investigación y operativo, y constituyen una piedra angular del conjunto de datos históricos satelitales.

#### Usos actuales de datos sobre hielo marino

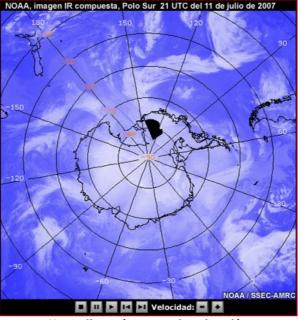
Escala temp.	Aplicaciones	Campos
Días	Predicciones diarias del tiempo, hidrología, transporte:  • inicialización en PNT  • pronósticos  • ciclogénesis (p. ej.: bajas polares)  • formación de nubes bajas y niebla en el borde del hielo  • observación de corredores marítimos  • pesca	Meteorología     Predicción numérica del tiempo     Oceanografía     Transporte y comercio     Navegación     Actividades pesqueras     Ciencias
Semanas	Pronóstico y ibservación:  • trayectoria de tormentas, patrones de nubes y precipitación  • formación y ruptura de capas de hielo • peligros potenciales para transporte • equilibrio energético superficial p/modelos de radiación • flujo y transporte de humedad superficial • clima global y regional, patrones de precipitación estacional • formación de agua de fondo y corrientes profundas • impactos en actividades pesqueras y especies marinas	Meteorología     Predicción numérica del tiempo, clima e hidrología     Modelado de la circulación general     Oceanografía     Transporte y comercio     Navegación     Actividades pesqueras     Ciencias
Años	Observación de cobertura y tendencias de hielo marino para:  • simulaciones climáticas globales y regionales  • observación y predicción del clima a largo plazo  • corrientes profundas y circulación termohalina  • impactos en los ecosistemas marinos	Modelado, predicción e investigación climática     Modelado de la circulación general     Transporte y comercio     Oceanografía     Ciencias

© The COMET Program

## 4.1.3 ¿Por qué observar el hielo marino desde satélites en órbita polar?

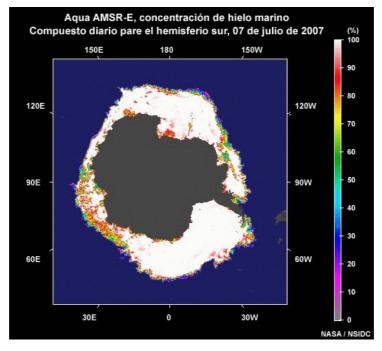
Las mediciones del hielo marino desde los satélites en órbita polar ofrecen varias ventajas importantes tanto sobre las observaciones satelitales tradicionales en el visible e infrarrojo como sobre las mediciones terrestres.

Durante el invierno polar, la extensión del hielo marino se expande y la capa nubosa estratiforme tiende a ser más extensa. Como las observaciones en el visible e infrarrojo no pueden penetrar la mayoría de la nubes,...

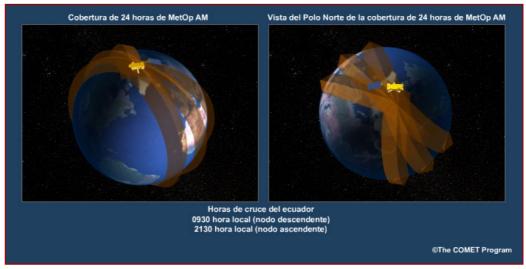


Haga clic aquí para ver la animación

...la teledetección por microondas del hielo marino es el complemento perfecto para las observaciones satelitales convencionales y las observaciones terrestres.



Por lo general, contamos con escasas mediciones del hielo marino in situ y a menudo ciertos fenómenos pasan desapercibidos. Las observaciones satelitales contribuyen a aliviar este problema con la repetición de la cobertura sobre áreas grandes con una resolución prácticamente uniforme, algo ideal para trabajo de generación de mapas, observación y modelado.



Haga clic aquí para ver la animación

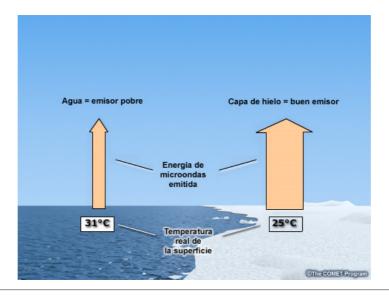
#### 4.2 ¿Cómo se ve el hielo marino desde el espacio?

## 4.2.1 Comparación de agua y capa de hielo

La capa de hielo sobre los océanos, lagos y ríos se distingue fácilmente del agua en las imágenes generadas con los instrumentos de microondas a frecuencias menores de 90 GHz.

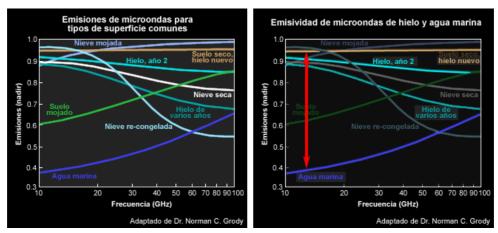
Debido a su gran constante dieléctrica, las superficies de agua son emisores relativamente pobres (pero buenos reflectores) de la energía de microondas.

Encontrará una discusión más a fondo del efecto dieléctrico en el módulo complementario Percepción remota por microondas: recursos de microondas (en inglés). Como veremos en un momento, la gran diferencia en las emisiones del agua y del hielo pueden producir una diferencia en la temperatura de brillo observada que a veces excede los 40 Kelvin (o grados Celsius), pese a que las dos superficies sean muy similares en términos de temperatura física.



# 4.2.2 Curvas de emisión

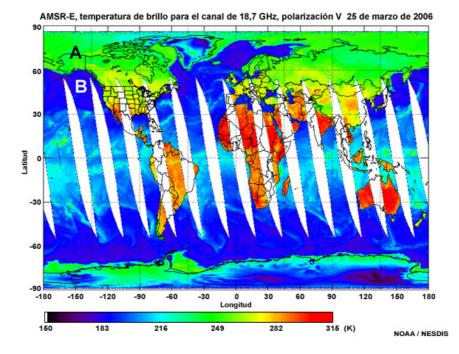
Esta gráfica muestra los espectros de emisividad de microondas de varias estructuras en la superficie terrestre y oceánica. Si nos centramos en las curvas de emisión de agua marina y capa de hielo observamos que la presencia de hielo marino a frecuencias más bajas casi duplica la emisividad de microondas en comparación con el agua.



A medida que el hielo envejece, vemos otros cambios en la emisividad en función de frecuencia. Este comportamiento es precisamente la base sobre la cual se detecta el hielo marino, así como la cantidad fraccional y la edad aproximada.

# 4.2.3 Preguntas de identificación de estructuras

Use la imagen de polarización vertical de 18,7 GHz para identificar las estructuras indicadas.



La estructura A es muy probablemente \_\_\_\_\_

- a. océano abierto
- b. capa de nubes bajas
- c. precipitación
- d. capa de hielo
- e. vapor de agua atmosférico

#### Haga clic aquí para ver la respuesta

La respuesta correcta es d.

**Explicación:** Como la superficie terrestre, el hielo marino se ve relativamente cálido debido a su emisividad relativamente alta.

En la misma imagen, la estructura **B** es muy probablemente \_\_\_\_\_.

- a. océano abierto
- b. capa de nubes bajas
- c. precipitación
- d. capa de hielo
- e. vapor de agua atmosférico

#### <u>Haga clic aquí para ver la respuesta</u>

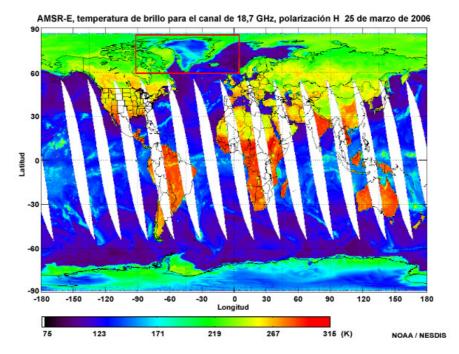
La respuesta correcta es a.

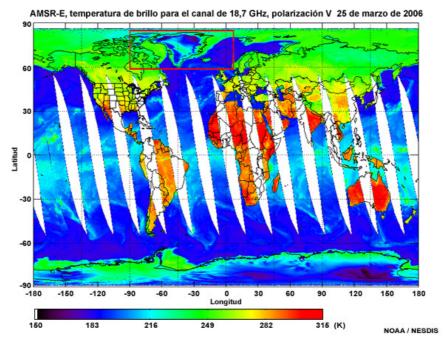
**Explicación:** El océano abierto tiene un aspecto relativamente frío para los instrumentos de microondas pasivos debido a la baja emisividad del agua.

#### 4.2.4 Impactos de la emisividad en la temperatura de brillo

Estas imágenes compuestas de las temperaturas de brillo de 18,7 GHz con polarización horizontal y vertical tomadas con el generador de imágenes de microondas del AMSR-E el 25 de marzo de 2006 muestran los fuertes contrastes de temperatura asociados con la capa de hielo marino en las regiones polares de ambos hemisferios. Esto coincide con lo que sería de esperar de acuerdo con la diferencia entre las curvas de emisión de comparación del agua y la capa de hielo.

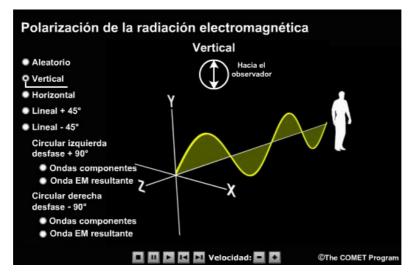
También vemos que el hielo marino reduce la diferencia en el grado de polarización entre los canales horizontal y vertical en comparación con lo esperado para una superficie de agua abierta.

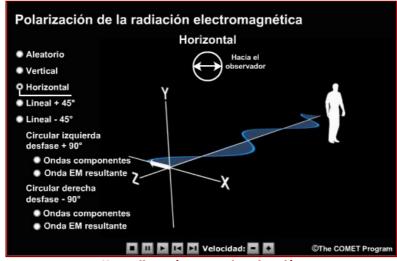




Recuerde que la polarización es la orientación de una onda electromagnética sobre un plano perpendicular a su dirección movimiento y es una propiedad importante para las interacciones relacionadas con la radiación de microondas.

Las polarizaciones vertical y horizontal son las orientaciones de las ondas electromagnéticas que observamos más a menudo parar caracterizar las propiedades de superficie y atmosféricas. Encontrará una explicación más detallada de la polarización y de cómo esta importante propiedad varía de acuerdo con el tipo y la composición de las superficies en el módulo complementario **Percepción remota por microondas: recursos de microondas** (en inglés).



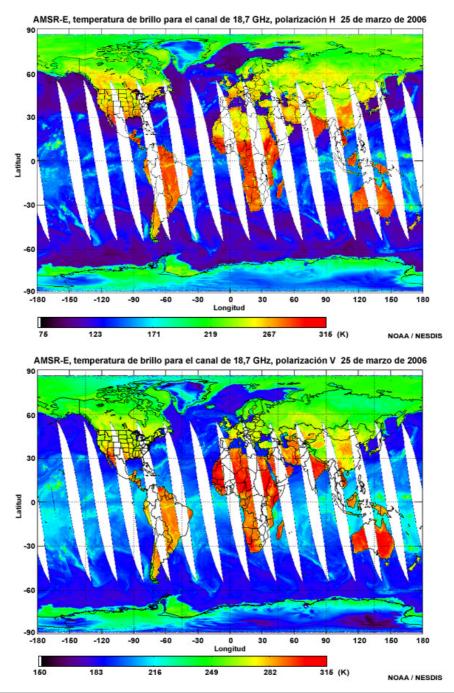


Haga clic aquí para ver la animación

Observe que aunque las diferencias de temperatura de brillo entre los canales de polarización vertical y horizontal

son considerables sobre las aguas abiertas del océano, se vuelve difícil distinguir las diferencias de temperatura en las áreas cubiertas de hielo marino. Los instrumentos satelitales como el AMSR-E, WindSat, SSMI y SSMIS son capaces de observar estas diferencias de polarización y de obtener información adicional que resulta importante para caracterizar el tipo y la edad de la capa de hielo, así como la temperatura y profundidad del manto de nieve acumulada.

Pese a que las diferencias de polarización sobre el hielo marino parecen ser relativamente pequeñas, como veremos en la próxima sección a medida que el hielo envejece se producen cambios importantes en su interior que afectan sus propiedades de emisividad y polarización.



# 4.2.5 Impacto de los cambios en el hielo marino con el tiempo

Con el tiempo, en el interior del hielo marino se producen cambios estructurales importantes que se notan en forma indirecta mediante las observaciones realizadas con sistemas de microondas pasivos y luego se utilizan, por ejemplo, para calcular la edad aproximada del hielo marino.

La animación de la izquierda muestra que conforme el agua se congela, la salmuera se excluye y queda concentrada en cavidades y orificios, produciendo un hielo que se compone principalmente de agua dulce. La emisividad de microondas de esta capa de hielo nueva es relativamente alta, porque en la superficie se produce relativamente poca dispersión y reflexión de la radiación.

(Haga clic aquí para ver la animación de la izquierda.)

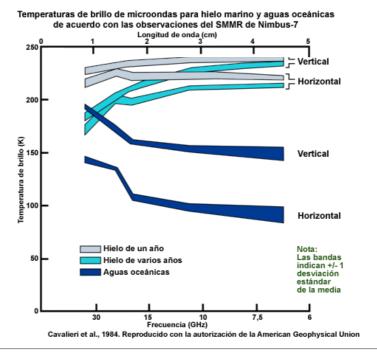
La animación de la derecha ilustra el proceso denominado "rechazo de salmuera" que ocurre gradualmente a medida que el hielo marino nuevo o de primer año se transforma en hielo de varios años. Debido a que las cavidades y bolsas llenas de salmuera son relativamente densas y tienen un punto de congelación más bajo, poco a poco la salmuera se abre camino hacia el fondo de la capa de hielo. Conforme la salmuera sale por el fondo de la capa de hielo, deja atrás cavidades y orificios vacíos que tienen el efecto de aumentar la cantidad de radiación de microondas que se dispersa a medida que atraviesa la capa de hielo, lo cual en términos prácticos reduce la emisividad de la capa de hielo. Desde la perspectiva de un instrumento de microondas pasivo, las capas de hielo más viejas parecen más frías en comparación con las capas de hielo nuevas.



(Haga clic aquí para ver la animación de la derecha.)

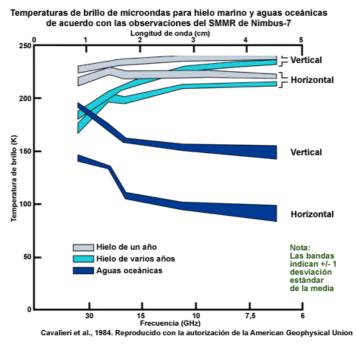
## 4.2.6 Hielo marino de uno y varios años, página 1

Esta gráfica presenta un resumen del impacto del transcurso del tiempo en la temperatura de brillo de las emisiones de microondas observadas del hielo marino. Las curvas individuales muestran la variación de temperatura de brillo de microondas de acuerdo con la frecuencia (longitud de onda) para una superficie oceánica abierta y una capa de hielo acumulada en uno o en varios año, con ambas polarizaciones, vertical y horizontal. Esta información constituye la base para extraer los datos de cobertura y edad del hielo marino por medio de algoritmos operativos.



## 4.2.7 Hielo marino de uno y varios años, página 2

¿A qué conclusiones nos permite llegar un análisis de los tres conjuntos de curvas de temperatura de brillo? Seleccione todas las opciones pertinentes.



- a. El grado de polarización para el agua oceánica es siempre mayor que para el hielo marino.
- b. La temperatura de brillo tiende a aumentar a medida que el hielo marino envejece.
- c. La curva del hielo marino se vuelve más empinada a medida que el hielo marino envejece.
- d. La información sobre pendiente y polarización es útil para discriminar y caracterizar el hielo marino.
- e. Sólo la información sobre pendiente es útil para separar el agua oceánica del hielo marino.

# Haga clic aquí para ver las respuestas

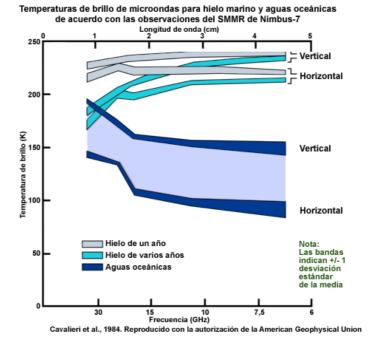
Las respuestas a, c y d son correctas.

**Explicación:** La opción *b* es incorrecta, porque la temperatura de brillo tiende a aumentar a medida que el hielo marino envejece, y la opción *e* es incorrecta porque la información sobre pendiente y polarización puede ser útil para identificar el hielo marino. La información de pendiente es particularmente útil para los instrumentos de microondas como el AMSU que carecen de datos sobre polarización. Más adelante compararemos los productos hielo marino generados con ambos tipos de instrumentos, los que tienen canales de polarización y los que no.

## 4.2.8 Hielo marino de uno y varios años, página 3

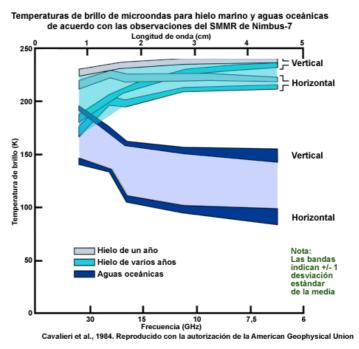
La comparación de estos tres conjuntos de curvas nos permite observar varios aspectos importantes. En primer lugar,

vemos que el grado de polarización siempre es mayor para el agua oceánica que para el hielo de uno o varios años.



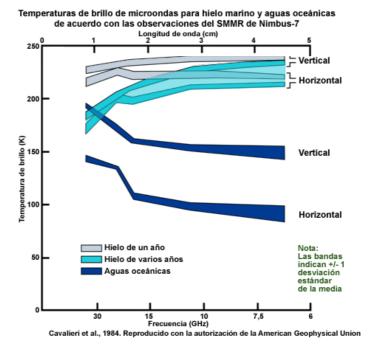
También se nota que las tendencias de temperatura de brillo, de frecuencias más altas a más bajas, son exactamente opuestas para el agua en comparación con las capas de hielo.

Estas dos características constituyen el aspecto fundamental que nos permite usar los instrumentos de microondas para distinguir entre el agua y las capas de hielo.



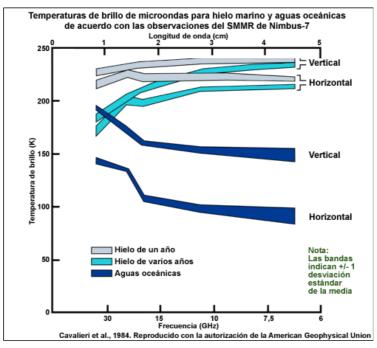
Otro aspecto interesante que cabe observar está relacionado con la capacidad de inferir la edad del hielo marino en términos de uno o varios años. Las curvas grises de la parte superior corresponden al hielo de un año, mientras las curvas celestes inmediatamente debajo de ellas representan las observaciones del hielo de varios años.

Si comparamos la inclinación de los dos conjuntos de curvas a medida que baja la frecuencia, podemos ver que la inclinación es mayor para el hielo de varios años que para el hielo de un año.



Podemos además comparar el grado de polarización del hielo de uno y de varios años aplicando una razón de polarización que nos ayuda a categorizar los dos tipos de hielo. La razón de polarización se emplea para normalizar las diferencias de polarización a una frecuencia dada y se deriva calculando la diferencia entre los canales de temperatura de brillo vertical y horizontal y luego dividiendo el resultado entre la suma de los dos.

La gráfica permite ver que la razón de polarización del hielo de un año es relativamente baja y aumenta a medida que la capa de hielo envejece.

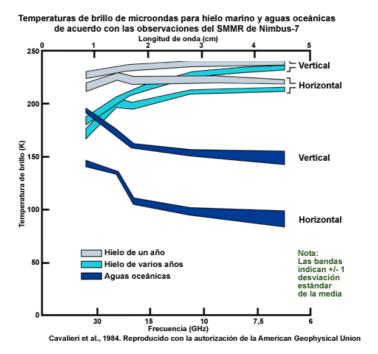


Razón de polariz. =  $T_b(19V) - T_b(19H) / (T_b(19V) + T_b(19H))$ 

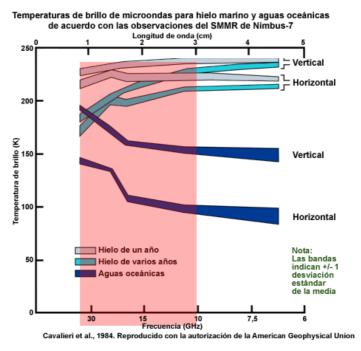
## 4.3 De la observación a los productos

# 4.3.1 Selección de canales

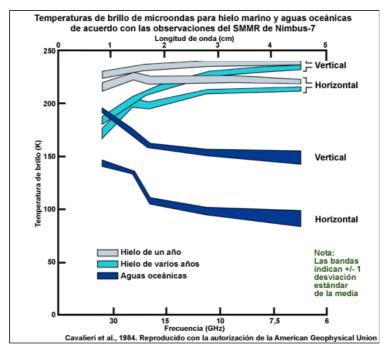
Debido a las grandes diferencias en la temperatura de brillo y la polarización entre el agua y las capas de hielo, y a los cambios considerables que produce la frecuencia, los esquemas de extracción de datos para las capas de hielo emplean los canales de microondas entre 7 y 100 GHz (que corresponden a las longitudes de onda de 4,3 a 0,3 cm).



Debido a su relativamente baja sensibilidad a las nubes y el vapor de agua, las frecuencias entre 10 y 37 GHz producen la mejor información sobre las capas de hielo.



Por otra parte, las frecuencias más altas (entre 50 y aproximadamente 89 GHz) se utilizan para identificar y, en ciertos casos, corregir aquellas áreas que pueden haber sido contaminadas por precipitación. Los instrumentos de microondas con canales de 85 a 89 GHz se utilizan también para tratar de corregir las concentraciones de hielo cuando las condiciones de la capa superficial, como hielo muy fino, una estructura en capas o hielo cubierto por una capa cristalina, pueden distorsionar la percepción de los canales de frecuencia más baja y reducir las temperaturas de brillo de polarización horizontal. El resultado es una mayor diferencia en la polarización entre el canal vertical y el horizontal que aumenta la razón de polarización y, de no corregirse, lleva a subestimar la concentración del hielo.



Razón de polariz. =  $T_b(19V) - T_b(19H) / (T_b(19V) + T_b(19H))$ 

#### 4.3.2 Selección de canales de los instrumentos de microondas pasivos

La tabla siguiente presenta un resumen de las frecuencias más utilizadas por los algoritmos de extracción de hielo marino organizado por instrumento de microondas pasivo. También se incluyen algunas notas sobre la estrategia de combinación de canales empleada para cada instrumento.

Canales de instrumentos de microondas pasivos para extracción de hielo marino

Instrumento de microondas pasivo	Frecuencias	Esquema de extracción de capa de hielo
AMSR-E	19, 37 ∨ y H, 89 ∨ y H	<ul> <li>19 y 37 GHz para capa de hielo</li> <li>19, 37, 89 GHz para corregir por efectos atmosféricos, hielo muy fino, hielo cubierto por una capa cristalina (común en Antárctica)</li> <li>6 GHz para estimar la temperatura del hielo</li> </ul>
SSM/I y SSMIS	19, 37 V y H, 85 V y H	Igual que AMSR-E (menos un canal de 6 GHz)
AMSU	23,8; 31,4; 50,3	Emisividad extraida en 23,8 GHz     La distinción de hielo y agua se hace con base en la emisividad extraida     La concentración del hielo marino se calcula a partir de la emisividad extraida
Futuro NPOESS	10 a 89 GHz con polarizaciones V y H	Método similar al que se emplea con AMSR-E

©The COMET Program

Observe que el NOAA AMSU es el único instrumento de barrido lateral del grupo y que no es capaz de distinguir entre la polarización vertical y horizontal. Debido a esta diferencia, el algoritmo de extracción de hielo marino del AMSU no puede usar la técnica de razón de polarización empleada con los datos de los instrumentos de barrido cónico, como AMSR-E, SSM/I y SSMIS. En su lugar, el algoritmo de AMSU hace un cálculo estimado de la emisividad de superficie (agua o hielo) a la frecuencia más baja disponible (23 GHz). El algoritmo puede usar esa estimación de la emisividad para distinguir el hielo del agua y calcular las concentraciones de hielo. Como las diferencias de polarización son un factor importante para estimar la edad del hielo marino, el AMSU se usa principalmente para extraer datos de concentración del hielo y no la edad del hielo.

Sin embargo, los otros instrumentos de microondas, como el SSM/I, SSMIS, AMSR-E y el futuro generador de imágenes de microondas NPOESS, incluyen canales para ambas polarizaciones, vertical y horizontal, y por tanto son más adecuados para estimar la edad del hielo marino.

# 4.4 Instrumentos y ejemplos de productos

#### 4.4.1 SSM/I y SSMIS

Desde 1987, el sensor especial y generador de imágenes de microondas (Special Sensor Microwave/Imager, SSM/I) y

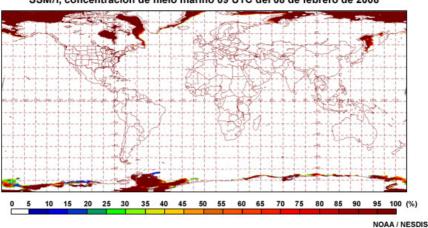
su sucesor, el sensor especial sonda atmosférica/generador de imágenes de microondas (*Special Sensor Microwave Imager/Sounder*, SSMIS), han contribuido a continuar las observaciones de las capas de hielo marino global por medio de un sistema de observación de microondas pasivo que comenzaron en 1979 con el radiómetro de microondas multicanal (*Scanning Multichannel Microwave Radiometer*, SMMR). Las observaciones de esta serie de instrumentos de microondas de barrido cónico se han combinado y procesado para producir varios tipos de productos y visualizaciones diarios y estacionales, como los que se utilizaron para crear la animación siguiente, la cual resalta la extensión máxima del hielo marino en las regiones polares del norte entre 1979 y 2005. Las observaciones sugieren que durante este período de 26 años se ha producido una disminución de la capa de hielo marino aproximadamente del 6 %.



Haga clic aquí para ver la animación

La imagen siguiente es un ejemplo del producto operativo diario de capa de hielo de 25 km generado a partir de datos compuestos recopilados para las órbitas SSM/I y SSMIS individuales.

Al examinar una imagen compuesta como ésta, es importante recordar la gran ventaja que brindan las observaciones de microondas, especialmente en latitudes altas, donde la utilidad de las observaciones convencionales en el visible e infrarrojo se ve limitada por la frecuente existencia de una capa nubosa y condiciones de escasa iluminación en invierno.

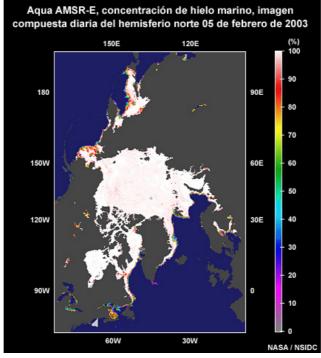


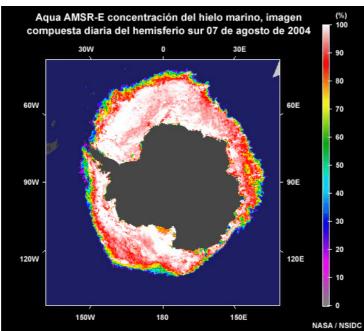
SSM/I, concentración de hielo marino 09 UTC del 08 de febrero de 2008

#### 4.4.2 AMSR-E

El instrumento de microondas pasivo AMSR-E lanzado en 2002 a bordo de la nave espacial EOS Aqua de NASA fue diseñado con canales adicionales y una resolución espacial más alta que han mejorado la calidad de varios productos, como el de hielo marino. AMSR-E se ha vuelto un instrumento importante no sólo por su contribución al conjunto de datos climáticos sobre el hielo marino, sino también como instrumento de prueba para el desarrollo de algoritmos y productos de extracción que nos da una idea de las prestaciones que podemos anticipar en los satélites ambientales de la era de NPOESS.

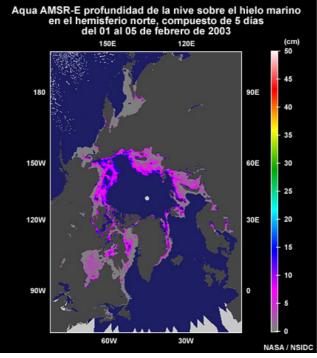
Éstos son algunos ejemplos de los productos de concentración del hielo marino que NASA produce a diario con una resolución de 12,5 km, para las regiones polares del hemisferio sur. El producto AMSR-E incluye las concentraciones de hielo marino de 0 al 100 % con una exactitud aproximada del 10 al 15 %.

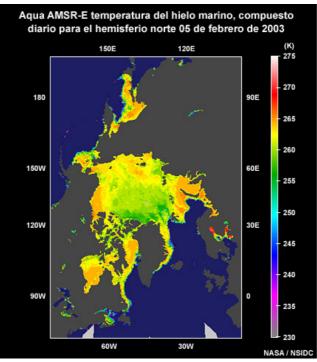




Los datos del AMSR-E se utilizan también para generar dos otros productos hielo marino regulares: la profundidad de la nieve acumulada sobre el hielo marino y la temperatura del hielo marino.

La disponibilidad de un canal de 6 GHz en el AMSR-E permite penetrar el manto de nieve a mayor profundidad y extraer una temperatura representativa del punto de contacto entre la nieve y el hielo. La temperatura del hielo marino es importante para predecir el deshielo y las temperaturas frías del hielo son indicativas de capas de hielo más gruesas.





# 4.4.3 Productos AMSU diarios

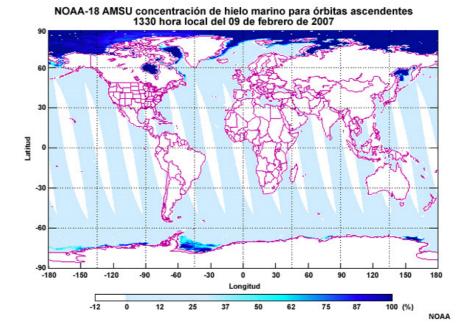
El instrumento de microondas pasivo AMSU de los satélites polares NOAA y MetOp también ha jugado un papel importante en la observación regular del hielo marino desde que el satélite NOAA-15 fue lanzado en órbita con el primer instrumento AMSU en 1998. La actual constelación de dos satélites NOAA y un satélite MetOp en órbita polar genera hasta seis observaciones al día de un lugar dado.

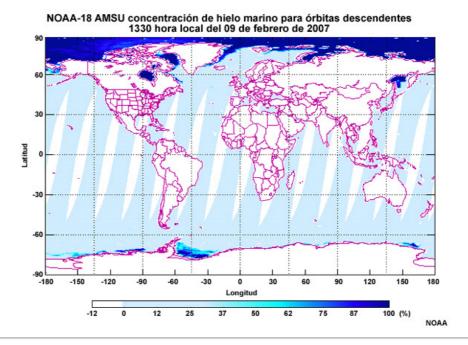


Haga clic aquí para ver la animación

NOAA genera un producto concentración del hielo marino para cada uno de los satélites NOAA y MetOp operativos y compuestos de 24 horas de las órbitas ascendentes y descendentes, como en este ejemplo de NOAA-18.

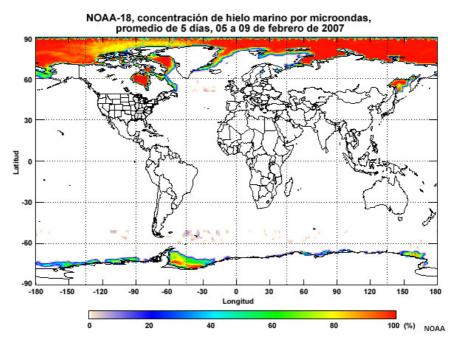
La concentración de hielo marino se genera para valores entre el 30 y el 100 % y cubre las latitudes entre y 50 grados norte y sur y la respectiva zona polar.



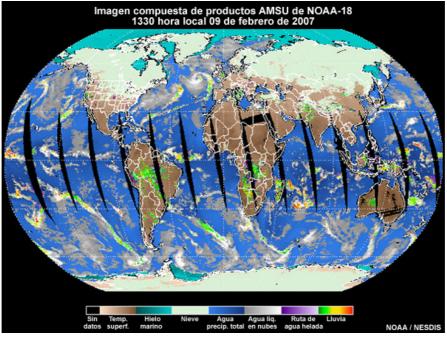


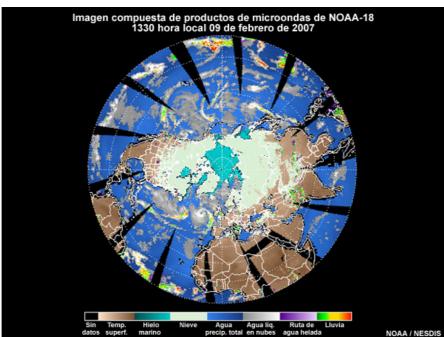
#### 4.4.4 Productos AMSU compuestos

NOAA también genera promedios de los datos orbitales diarios para producir un producto compuesto de cinco días que se actualiza a intervalos de 5 días y se presenta en una proyección mundial como la siguiente. Estos compuestos de cinco días son menos susceptibles a los fenómenos meteorológicos transitorios y a las omisiones de datos que a veces ocurren en los productos de una órbita individual.

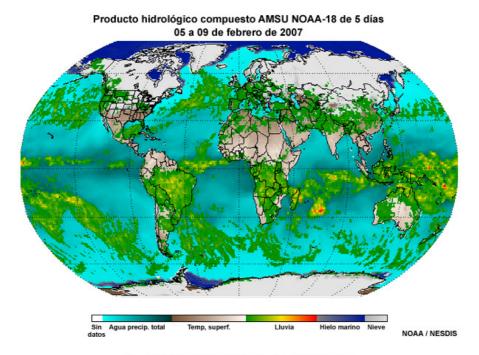


Además del producto exclusivo de hielo marino, NOAA genera imágenes compuestas multiproducto de 24 horas. Estas imágenes compuestas, que combinan varios productos de microondas del AMSU [temperatura de superficie, hielo marino, manto de nieve, agua precipitable total (*Total Precipitable Water*, TPW), agua líquida en las nubes (*Cloud Liquid Water*, CLW), recorrido agua hielo (*Ice Water Path*, IWP) y tasa de lluvia] en una proyección de la Tierra, constituyen una forma conveniente de visualizar los elementos de superficie y atmosféricos dentro de un contexto meteorológico más amplio.

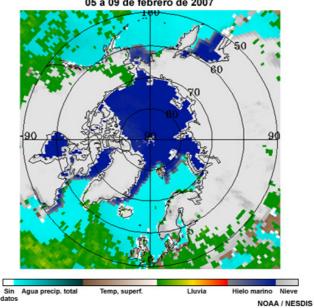




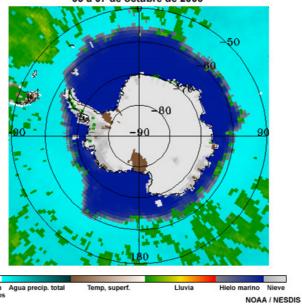
Se genera un producto compuesto similar fusionando varios productos AMSU en un producto compuesto de 5 días que elimina las zonas sin cobertura y es mejor para seguir la evolución de las estructuras meteorológicas y de superficie de mayor duración.



# Producto compuesto AMSU NOAA-18 de 5 días 05 a 09 de febrero de 2007



# Producto compuesto AMSU NOAA-18 de 5 días 03 a 07 de octubre de 2006



#### 4.5 Prestaciones de los instrumentos y características de los productos

# 4.5.1 Sistemas generadores de imágenes de microondas pasivos

Esta tabla presenta un resumen de los actuales sistemas con instrumentos de microondas pasivos empleados para observar las capas de hielo y destaca algunas características clave de los productos.

Todos estos instrumentos generan productos de concentración y extensión del hielo marino. Las diferencias entre los productos son principalmente el resultado de la resolución del sensor y de cómo los algoritmos tratan los diversos efectos atmosféricos y de la superficie.

Prestaciones de instrumentos de microondas y características de los productos de hielo marino

Instrumento (satélite)	Cobertura	Resolución del producto	Concentración de hielo marino	Otros productos
SSM/I y SSMIS (DMSP)	Cada 12 horas     Satélites agrupados para brindar cobertura en la madrugada y por la tarde	25 km	Intervalo: 0 a 100 % Exactitud: N/C	Edad del hielo marino (un año o varios)
AMSR-E (EOS Aqua)	Cada 12 horas para la tarde temprano y las hora de la noche (el manto de nieve se observa únicamente en las órbitas nocturnas)	12,5 y 25 km	Intervalo: 0 a 100 % Exactitud: ~10 a 15 %	Temperatura del hielo marino (contacto entre hielo y nieve cuando está nevado) Prof. de la nieve sobre el hielo marino Edad del hielo marino (un año o varios)
AMSU (NOAA y serie MetOp)	Cada 4 horas     NOAA brinda cobertura en la madrugada y temprano por la tarde     MetOp cubre la órbita de media mañana	45 km en nadir 150 km en el limbo	Intervalo: 30 a 100 % Exactitud: 25 %	Edad del hielo marino (un año o varios)
Futura sonda atmosf./generador de imágenes de microondas NPOESS	Cada 12 horas a partir del segundo satélite de la serie NPOESS	~ 70 (baja frec.) ~ 14 km (alta frec.)	Detalles del producto a determinar	Detalles del producto a determinar

©The COMET Program

En la actualidad, AMSR-E es el único instrumento que genera productos estándar de temperatura del hielo marino y profundidad del manto de nieve, además de los de concentración del hielo.

# Prestaciones de instrumentos de microondas y características de los productos de hielo marino

Instrumento (satélite)	Cobertura	Resolución del producto	Concentración de hielo marino	Otros productos
SSM/I y SSMIS (DMSP)	Cada 12 horas     Satélites agrupados para brindar cobertura en la madrugada y por la tarde	25 km	Intervalo: 0 a 100 % Exactitud: N/C	Edad del hielo marino (un año o varios)
AMSR-E (EOS Aqua)	Cada 12 horas para la tarde temprano y las hora de la noche (el manto de nieve se observa únicamente en las órbitas nocturnas)	12,5 y 25 km	Intervalo: 0 a 100 % Exactitud: ~10 a 15 %	Temperatura del hielo marino (contacto entre hielo y nieve cuando está nevado) Prof. de la nieve sobre el hielo marino Edad del hielo marino (un año o varios)
AMSU (NOAA y serie MetOp)	Cada 4 horas     NOAA brinda cobertura en la madrugada y temprano por la tarde     MetOp cubre la órbita de media mañana	45 km en nadir 150 km en el limbo	Intervalo: 30 a 100 % Exactitud: 25 %	Edad del hielo marino (un año o varios)
Futura sonda atmosf./generador de imágenes de microondas NPOESS	Cada 12 horas a partir del segundo satélite de la serie NPOESS	~ 70 (baja frec.) ~ 14 km (alta frec.)	Detalles del producto a determinar	Detalles del producto a determinar

©The COMET Program

# 4.5.2 Limitaciones de los productos

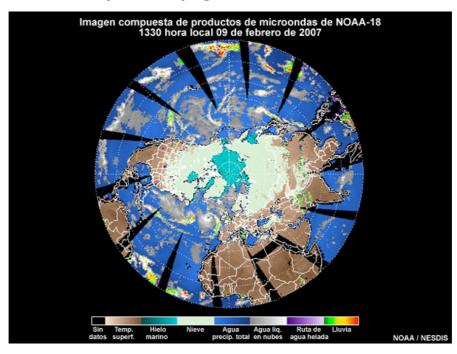
En la actualidad, entre los productos operativos de los instrumentos SSM/I, SSMIS y AMSU se incluyen la cobertura y concentración del hielo marino. El AMSR-E es capaz de generar productos adicionales de profundidad de la nieve acumulada sobre la capa de hielo y temperatura del hielo.

Al examinar los productos de capa de hielo, es preciso tener presentes ciertas limitaciones. En la actualidad, las variaciones en el tipo y la temperatura del hielo marino, la acumulación del agua sobre el hielo marino, el hielo fino, las superficies cristalinas, la presencia de capas de hielo, la turbulencia del océano causada por el viento, los litorales y la precipitación constituyen las fuentes más comunes de error e incertidumbre. En algunos casos es posible efectuar correcciones, y en otros los valores de hielo marino se pueden eliminar o identificar como relativamente poco

confiables, según el esquema empleado.

- Las concentraciones del hielo marino de AMSU por debajo del 30 % no se incluyen, principalmente debido a la huella más grande de dicho instrumento y a la contaminación por la humedad atmosférica sobre las aguas oceánicas.
- Los productos pueden sufrir cierta degradación y la cobertura de hielo sobre o subestimarse en zonas donde el viento provoca turbulencia en la superficie oceánica y donde las condiciones atmosféricas son inclementes (mayor concentración de vapor de agua, cubierta nubosa densa y de varias capas y precipitación).
- Los productos sufren cierta degradación cerca de los litorales y otras estructuras terrestres, o dichas estructuras se eliminan.
- Los productos pueden sufrir cierta degradación y la cobertura de hielo subestimarse cuando la condiciones de la superficie del hielo incluyen agua acumulada, capa de hielo fino, superficies cristalinas, varias capas, manto de nieve y variaciones en el tipo y la temperatura del hielo.

#### 4.5.3 Limitaciones de los productos: pregunta



¿Cuáles de las siguientes condiciones afectan negativamente los productos hielo marino generados con microondas? Seleccione todas las opciones pertinentes.

- a. océano turbulento por acción del viento
- b. precipitación
- c. capa nubosa delgada
- d. costas
- e. hielo fino
- f. reflejo solar

# Haga clic aquí para ver las respuestas

Las respuestas a, b, d y e son correctas.

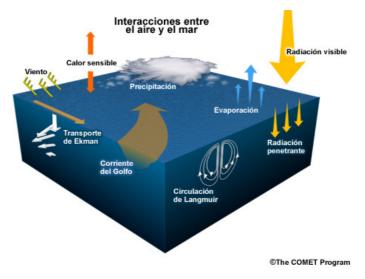
**Explicación:** Si el viento ha creado condiciones turbulentas en la superficie del océano, es posible que se sobreestime el hielo marino, porque las olas oceánicas y la espuma del agua aumentan la emisividad de microondas de la superficie oceánica de modo que se parece al hielo marino. La precipitación absorbe la radiación de microondas emitida por el hielo marino subyacente, lo cual oculta la señal del hielo marino, y las capas de hielo finas pueden subestimar el hielo marino, ya que una mayor parte de la señal del océano subyacente puede atravesar el hielo. La opción c es incorrecta, porque los instrumentos de microondas son capaces de detectar a través de todas las capas nubosas salvo las más espesas y las áreas de precipitación. La opción f también es incorrecta, ya que el Sol emite la mayor parte de su energía en el visible e infrarrojo, y la región de microondas sólo representa una pequeña fracción de la radiación total que emite.

#### 5.0 Temperatura de la superficie del mar

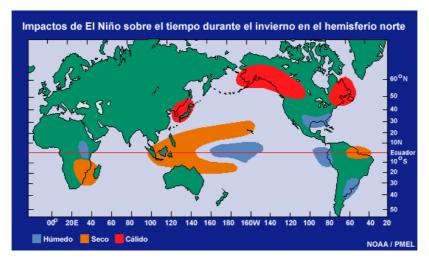
#### 5.1 ¿Por qué usar la percepción remota de TSM?

#### 5.1.1 Necesidad de datos de TSM

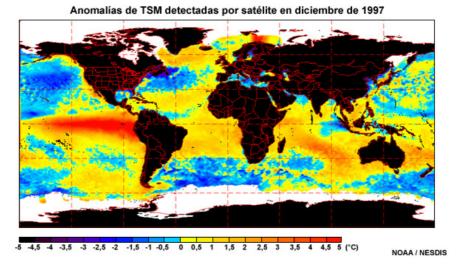
La temperatura de la superficie del mar (TSM) y su variación son factores que están estrechamente ligados al intercambio de energía, momento y humedad entre el océano y la atmósfera. La temperatura de superficie de los océanos de nuestro planeta juega un papel central en la variabilidad de los regímenes meteorológicos y climáticos regionales y mundiales, así como en la salud y el bienestar de la vida oceánica.



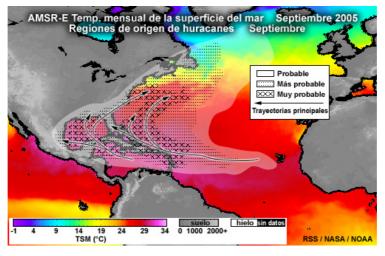
El ciclo de episodios recurrentes de El Niño y La Niña, cuyos impactos sobre el tiempo y el clima a nivel regional en todo el mundo son muy importantes, constituye un ejemplo claro y muy bien conocido del acoplamiento entre el océano y la circulación atmosférica.



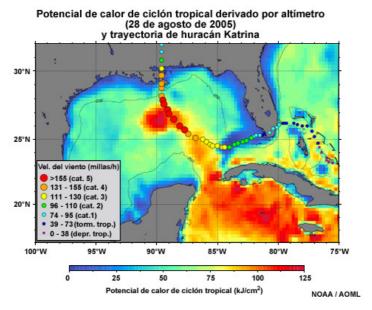
Durante un episodio de El Niño, las TSM anormalmente cálidas se extienden hacia el oeste a lo largo del océano Pacífico ecuatorial. Los cambios asociados en la presión al nivel del mar y la precipitación pueden afectar los patrones meteorológicos en lugares muy distantes de las anomalías de TSM caliente.



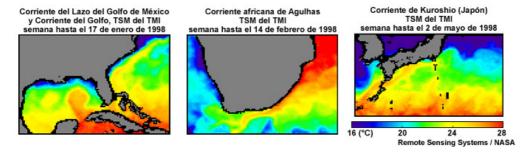
La TSM afecta la génesis y evolución de los sistemas meteorológicos y los ciclones tropicales.



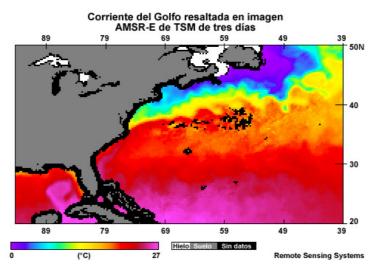
Los cambios en la intensidad de los huracanes están fuertemente vinculados a la TSM y el contenido de calor del océano superior, como lo demuestran las estimaciones de trayectoria e intensidad de huracán Katrina, agosto de 2005.



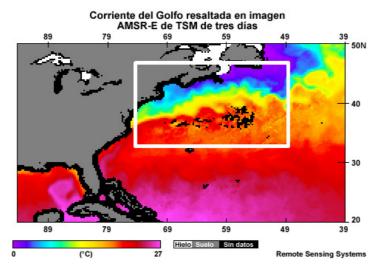
Los efectos de las corrientes principales en las capas superiores del océano, como el transporte de calor hacia los polos, los patrones de convección y precipitación oceánica, y la distribución de nutrientes y producción oceánica, son importantes. Las observaciones de TSM nos permiten ver los gradientes térmicos y las fronteras claramente demarcadas que suelen asociarse a estas importantes circulaciones oceánicas.



También existe una fuerte correlación entre las concentraciones de nutrientes y la producción primaria en los océanos y la temperatura de la superficie del mar. Por producción primaria se entiende la producción de compuestos orgánicos a partir del dióxido de carbono atmosférico o acuático, principalmente a través de la fotosíntesis.



Existe una correlación entre los fuertes gradientes horizontales en la temperatura y las concentraciones de nutrientes en los océanos, o frentes oceánicos, y las corrientes y zonas de alta productividad que apoyan los lugares de pesca y contribuyen a las floraciones algales.



La imagen siguiente es un ejemplo de una floración algal que cubrió grandes zonas del Pacífico ecuatorial después del intenso episodio de El Niño de 1997-1998.

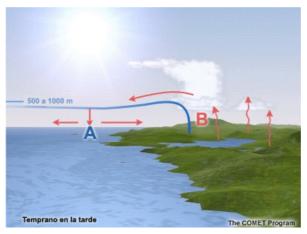
Imagen SeaWIFS del color del océano

de una floración algal ecuatorial en 1998

J. Ryan, 2005, AGU / NASA

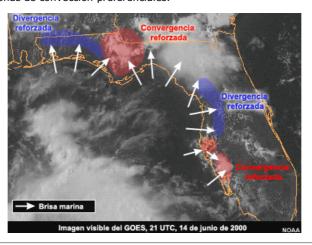
Las circulaciones diurnas de brisas de tierra y de mar son excelentes ejemplos de cómo los contrastes en temperatura entre agua y tierra afectan el tiempo y el clima local.

Una descripción detallada de la TSM y sus variaciones a lo largo de las costas constituye un elemento importante para pronosticar el desarrollo de brisas de tierra y de mar y el potencial de convección.





A medida que una brisa de mar sopla hacia el interior e interactúa con la topografía local y el flujo sinóptico de gran escala, a menudo produce zonas de convección preferenciales.



# 5.1.2 Aplicaciones y usuarios

Esta tabla presenta un resumen de las aplicaciones y los usuarios de datos de TSM.

Las aplicaciones abarcan una gama variada de intereses, como previsiones meteorológicas, clima, oceanografía y ecosistemas oceánicos.

Entre los usuarios y consumidores de esta información se incluyen las personas que trabajan en pronóstico del tiempo, climatología e investigación climática, hidrología, oceanografía, biología y ecología marina, y actividades pesqueras.

Las observaciones satelitales normales de la TSM comenzaron en 1981 con el lanzamiento de los satélites NOAA-7 en orbita polar y hasta el día de hoy con infrarrojos y de microondas. El lanzamiento del satélite TRMM en 1997 marcó el comienzo de la era de observación rutinaria de la TSM con microondas. En 2002, a ese instrumento se sumó el generador de imágenes AMSR-E lanzado a bordo del satélite polar NASA Aqua. Encontrará descripciones detalladas de ejemplos de los productos y las aplicaciones de cada plataforma en la sección sobre prestaciones de los instrumentos y características de los productos.

Usos de datos de temperatura de la superficie del suelo

Escala temporal	Aplicaciones	Campos
Días	Previsiones meteorológicas diarias:  • Asimilación de datos para PNT (interacción aire-mar, transferencia de calor latente y sensible)  • Pronósticos  • Desarrollo y evolución de ciclones tropicales  • Circulaciones diurnas de brisas de tierra y de mar  • Formación de niebla y nubes bajas sobre aguas con temperaturas superficiales bajas	Meteorología     Oceanografía     Actividades pesqueras     Predicción numérica del tiempo y oceanográfica
Semanas	Pronóstico y observación:  • Potencial de formación de tormentas tropicales  • Ondas de inestabilidad en océanos tropicales  • Evolución de oscilaciones océano-atmósfera (p. ej., El Niño, La Niña, oscilación del Atlántico Norte, oscilación decádica del Pacífico, etc.) y cambios relacionados en la nubosidad regional y precipitación  • Corrientes oceánicas (p. ej., c. del Golfo, c. de Kuroshio, etc.)  • Balance energético de superficie para modelos de radiación  • Flujo y transporte de humedad de superficie  • Patrones de clima global y regional, y precipitación y temperatura estacional  • Ecología marina, producción pesquera, productividad oceánica, potentcial de floraciones algales	Meteorología e hidrología     Climatología     Oceanografía     Biología marina     Actividades pesqueras     Predicción numérica del tiempo, climática, hidrológica y oceanográfica     Modelado de circulation general
Años	Observación de la temperatura de superficie del mar y tendencias para: • Simulaciones climáticas globales y regionales • Observación y predicción climática a largo plazo • Corrientes oceánicas e impactos en la circulación termohalina • Ecología marina y producción pesquera	Observ., modelado, predicción e investigación climática     Oceanografía y modelos oceánicos     Modelado de circulation gral.     Biología marina     Actividades pesqueras

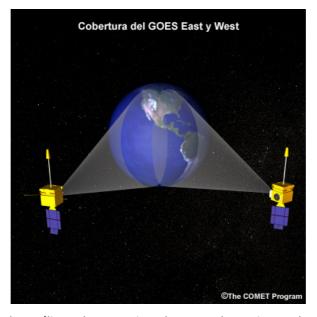
©The COMET Program

# 5.1.3 ¿Por qué observar la TSM desde los satélites en órbita polar? Página 1

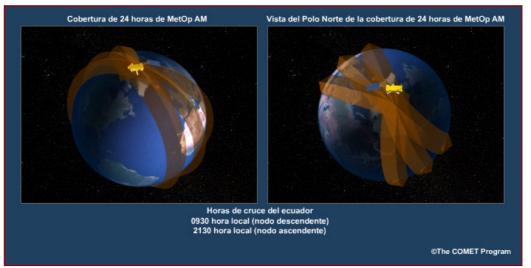
La posibilidad de medir la TSM desde los satélites en órbita polar brinda una serie de ventanas importantes en comparación con las mediciones que podemos obtener desde los satélites geoestacionarios y mediante las observaciones in situ realizadas por los buques y las boyas.

TSM global de 3 días AMSR-E hasta el 18 de junio de 2005

Debido a su geometría de observación, los satélites geoestacionarios no pueden observar en forma directa las regiones polares de la Tierra más allá de los 70 grados norte y sur.



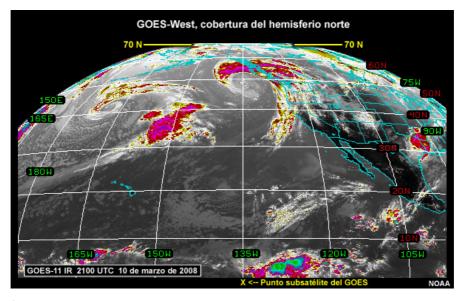
Por otra parte, las órbitas de los satélites polares permiten observar ambas regiones polares (norte y sur) cada 102 minutos, es decir, aproximadamente 13 veces al día para un determinado lugar fijo. La capacidad de los satélites en orbita polar de brindar una cobertura completa de los océanos de nuestro planeta en un período de uno o dos días también constituye una clara ventaja, ya que se trata de una serie de observaciones calibradas del globo realizadas por un mismo instrumento o suite de instrumentos, algo importante para la observación del clima global.



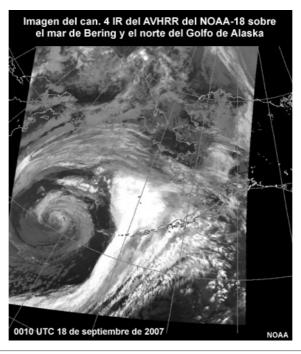
Haga clic aquí para ver la animación

# 5.1.4 ¿Por qué observar la TSM desde los satélites en órbita polar? Página 2

La capa nubosa impone la limitación más importante para los satélites que observan la superficie. Los actuales satélites geoestacionarios, así como algunos de los modernos satélites polares, dependen exclusivamente de la tecnología infrarroja para observar la temperatura de superficie. Dado que en su mayoría las nubes son opacas a la radiación infrarroja, el efecto neto es de impedir que la radiación de superficie alcance el satélite, lo cual limita la cantidad de posibles observaciones de TSM.



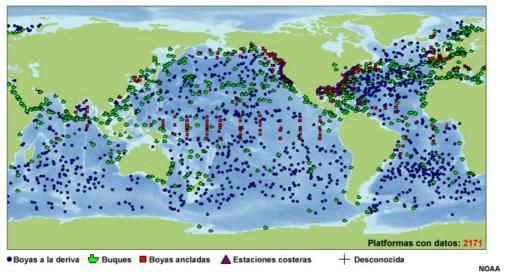
Aunque un satélite en orbita polar que depende de los sensores infrarrojos convencionales no puede brindar la misma frecuencia de cobertura que un satélite geoestacionario, por la frecuencia de su cobertura y la alta resolución de sus observaciones en las latitudes altas puede observar una mayor parte de las áreas de la superficie despejada del planeta. Pero los satélites polares cuentan con una capacidad de observación de TSM incluso más importante, que hace uso de los sensores de microondas, que les brinda una ventaja incluso mayor a la hora de observar la superficie.



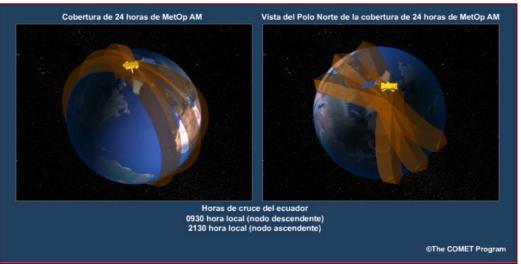
# 5.1.5 ¿Por qué observar la TSM desde los satélites en órbita polar? Página 3

Pese a su exactitud, las mediciones de TSM in situ son relativamente escasas y ciertas estructuras importantes, como frentes, corrientes, circulaciones y gradientes a pequeña escala, pueden pasar desapercibidas.

#### Platformas de observación de TSM 09 de febrero de 2008



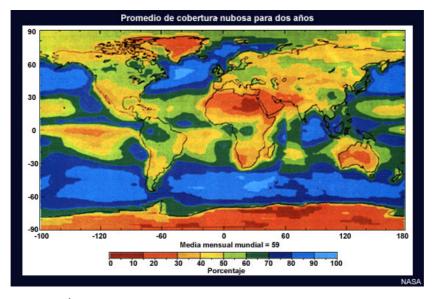
Las observaciones desde los satélites en orbita polar llenan los huecos gracias a que su cobertura se repite a intervalos regulares sobre áreas extensas con una resolución casi uniforme, lo cual constituye una ventaja importante para el trabajo de observación y modelado. Los satélites en órbita polar obtienen datos para todo el globo, lo cual permite cubrir zonas oceánicas remotas donde el tráfico marítimo es escaso y es difícil poner boyas en funcionamiento.



Haga clic aquí para ver la animación

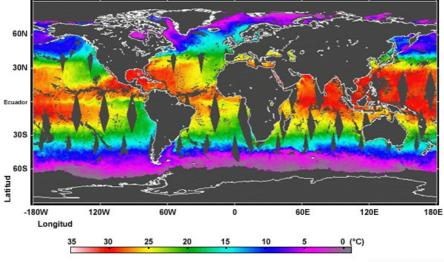
#### 5.1.6 ¿Por qué observar la TSM con radiómetros de microondas pasivos?

La cobertura nubosa sobre los océanos subpolares a menudo excede el 75 %, lo cual limita enormemente la capacidad de observar la superficie con infrarrojos. Una capa nubosa persistente también cubre partes de los trópicos afectados por la ZCIT (zona de convergencia intertropical) o la ZCPS (zona de convergencia del Pacífico Sur). A lo largo del tiempo, en promedio las nubes ocultan aproximadamente el 50 % de la superficie terrestre.



Los satélites ambientales en órbita polar con instrumentos de microondas, como el TRMM TMI y Aqua AMSR-E, permiten solucionar el problema de la capa nubosa gracias a su capacidad de observar con exactitud en los canales de microondas, independientemente de las condiciones del tiempo. Los radiómetros de microondas con canales de bajas frecuencias (6 a 10 GHz), cuya sensibilidad a la TSM es conocida, son capaces de penetrar las nubes no precipitantes, son relativamente poco sensibles a la absorción por los gases atmosféricos y no se ven afectados por aerosoles o polvo. Estas propiedades no sólo permiten realizar observaciones casi completa de la superficie oceánica todos los días, sino que gracias a ellas esta nueva clase de radiómetros de microondas es ideal para realizar observaciones exactas de la TSM a largo plazo.

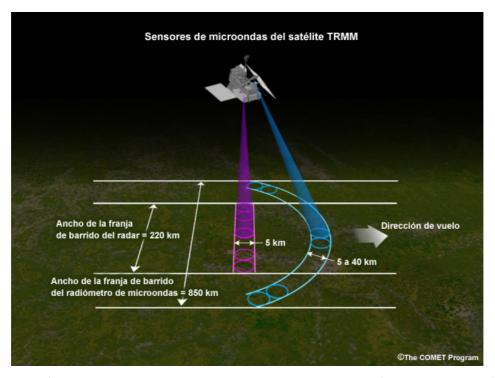
AMSR-E, cobertura de TSM global diaria, 11 de julio de 2007



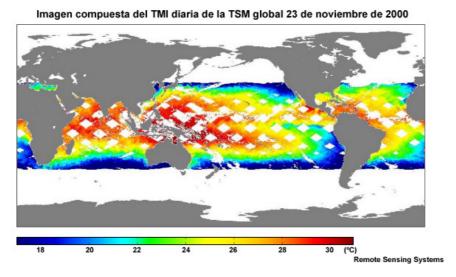
NSIDC / NASA GSFC

# 5.1.7 Radiómetros de microondas pasivos para medir la TSM

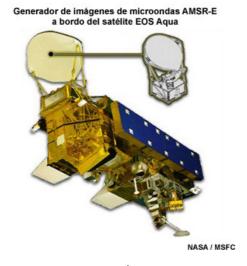
El primer radiómetro de microondas correctamente calibrado para determinar con exactitud la TSM fue el generador de imágenes por microondas del TRMM (*TRMM Microwave Imager*, TMI), lanzado en el TRMM en 1997. Los radiómetros de microondas anteriores, como el Nimbus SMMR, así como algunos de los actuales, como DMSP SSM/I y NOAA AMSU, no estaban calibrados lo suficientemente bien o funcionaban a frecuencias demasiado altas para generar estimaciones de TSM exactas.



El TMI cubre los océanos tropicales entre 40 grados N y 40 grados S y brinda una visión de la superficie oceánica bajo cualquier condición meteorológica salvo la lluvia.

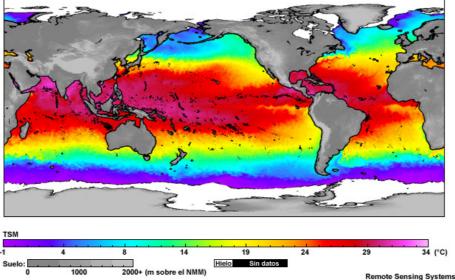


En 2002 el generador de imágenes de microondas AMSR-E a bordo de los satélites polares Aqua de NASA, se unió al satélite TRMM.

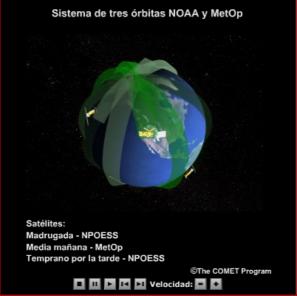


En comparación con la órbita casi ecuatorial del TRMM, el satélite polar Aqua se encuentra en una órbita heliosincrónica que le permite observar la superficie oceánica a cualquier latitud. Está previsto un generador de imágenes de microondas de próxima generación para...

# TSM global de 3 días AMSR-E hasta el 18 de junio de 2005



...los futuros satélites NPOESS, con prestaciones específicas que permitirán continuar las observaciones de la TSM global para aplicaciones meteorológicas y climáticas.



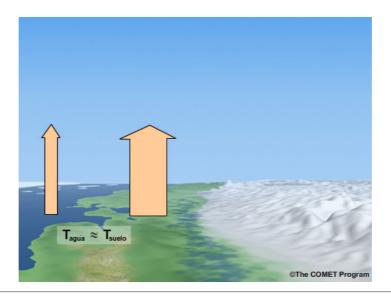
Haga clic aquí para ver la animación

# 5.2 ¿Qué aspecto tiene la TSM desde el espacio?

# 5.2.1 Emisiones de microondas: comparación del agua con tierra firme y hielo marino

Debido a la alta constante dieléctrica del agua, la superficie de una extensión de agua es un emisor relativamente pobre (un buen reflector) de la energía de microondas, especialmente a frecuencias menores de aproximadamente 90 GHz.

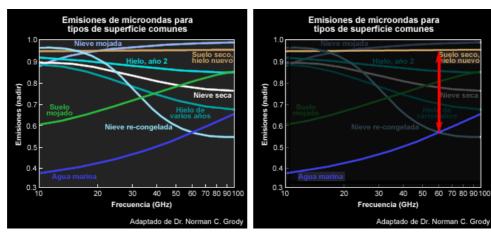
Por otra parte, el suelo terrestre y el hielo marino son emisores relativamente buenos (reflectores pobres) de la energía de microondas. Como veremos a continuación, esta marcada diferencia en las propiedades de emisión del agua en comparación con la tierra firme y el hielo marino produce una diferencia en la temperatura de brillo observada que a menudo sobrepasa los 40 Kelvin, incluso cuando la temperatura física de las diferentes superficies es muy similar.



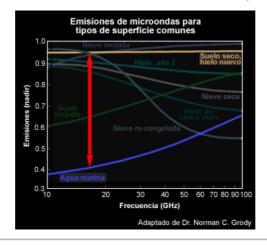
#### 5.2.2 Emisiones de microondas: curvas de emisión

La gran diferencia en la emisividad del océano en comparación con la tierra firme y el hielo marino nos ayuda de dos formas: nos permite identificar las superficies correspondientes a masas de agua, y también a detectar las capas de hielo como producto secundario del proceso de extracción de la TSM.

Esta gráfica muestra los espectros de emisividad de microondas de varias estructuras de la superficie terrestre y oceánica. Si centramos nuestra atención en las curvas de emisión de agua marina, suelo seco y hielo nuevo (izquierda), vemos que a frecuencias más altas la emisividad de microondas del suelo seco y el hielo marino es casi el doble la de las masas de agua.



Note además que a medida que observamos a frecuencias más bajas, las diferencias en la emisividad de las masas de agua y del suelo aumentan, lo cual ayuda a separar y clasificar los dos tipos de superficies. Esto es particularmente importante al tener en cuenta la cobertura fraccional del hielo marino durante el proceso de extracción de TSM.



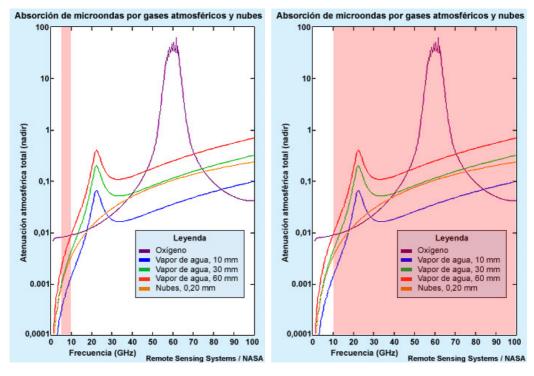
#### 5.2.3 Impactos de la emisividad en la temperatura de brillo

Estas dos imágenes globales compuestas presentan las temperaturas de brillo de los canales de 6,9 y 10,7 GHz de polarización vertical obtenidas con el generador de imágenes de microondas AMSR-E el 3 de marzo de 2006.

Se nota en seguida el fuerte contraste entre el suelo, las aguas oceánicas y el hielo marino. Esto coincide con lo que podríamos esperar con base en las diferencias de las curvas de emisión. Estas dos imágenes también subrayan el hecho de que las frecuencias de microondas más bajas son relativamente poco sensibles al vapor de agua atmosférico y a la capa nubosa. No obstante, se notan algunas áreas de Iluvia, en forma de píxeles relativamente cálidos, especialmente en la imagen de 10,7 GHz. Dado que la precipitación contamina los datos de extracción de TSM, es común recurrir a canales de frecuencias mayores que 10 GHz para separar la precipitación de los datos deseados.

# 5.2.4 Impactos de la emisividad en la temperatura de brillo

Debido a su sensibilidad a los cambios de TSM y a su relativa falta de sensibilidad a las nubes y los gases atmosféricos, como el vapor de agua y el oxígeno, es común utilizar las frecuencias de microondas más bajas, entre 6 y 10 GHz, para extraer la TSM.



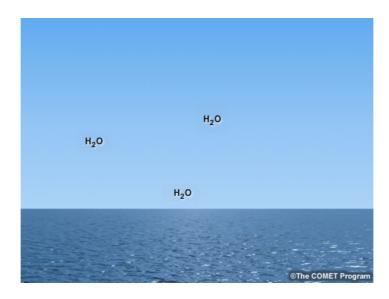
Si bien las frecuencias más allá de 10 GHz aportan poca información adicional sobre la TSM, sí juegan un papel importante para caracterizar una serie de factores que se emplean en el proceso de extracción, como la cantidad de vapor de agua, nubes, precipitación y agitación del mar en relación con la velocidad y dirección del viento.

# 5.2.5 Factores oceánicos y atmosféricos que afectan la extracción de TSM

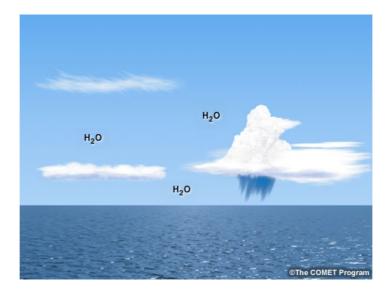
Como ya mencionamos, si no se separa o toma en cuenta de forma adecuada, la precipitación es un factor que puede contaminar los datos extraídos de TSM.

La medición exacta de TSM también exige que se consideren debidamente una serie de otros factores que forman parte del algoritmo de extracción. Los más importantes de estos factores son:

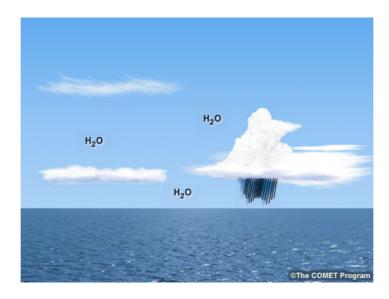
• Vapor de agua atmosférico: el vapor de agua se toma en cuenta por medio de los canales de frecuencias más altas, como el de 22 GHz.



• Nubes: aunque la mayor parte de la radiación de microondas de frecuencias bajas penetra la capa nubosa, si este factor no se tiene en cuenta produce efecto de una magnitud suficiente como para generar errores en los datos de TSM extraídos. Normalmente esto se logra mediante canales de frecuencias más altas, entre 10 y 89 GHz.

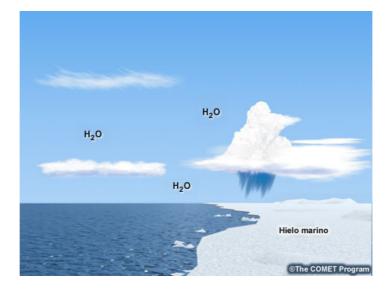


 Precipitación: la radiación de superficie es incapaz de penetrar la precipitación, de modo que no se pueden extraer datos de TSM de los píxeles contaminados. Las áreas de precipitación se identifican por medio de canales de frecuencias más altas, entre 10 y 89 GHz.

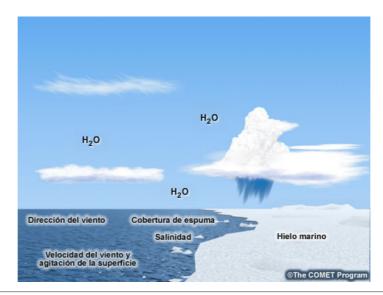


• Hielo marino: cuando existe, el hielo marino contamina fuertemente la señal de TSM y es preciso estimar su cobertura fraccional para lograr la extracción exacta de la TSM. Cuando la superficie oceánica está completamente

cubierta de hielo, los valores de TSM se pueden estimar por medio de la temperatura de congelación del agua de mar de esa región, aunque a veces se omiten, según el algoritmo en uso.



• La salinidad del océano, la velocidad del viento y la agitación de la superficie, la dirección del viento y la cobertura de espuma son otros factores que afectan la exactitud de los datos de TSM extraídos y se toman en cuenta al desarrollar los algoritmos de extracción.

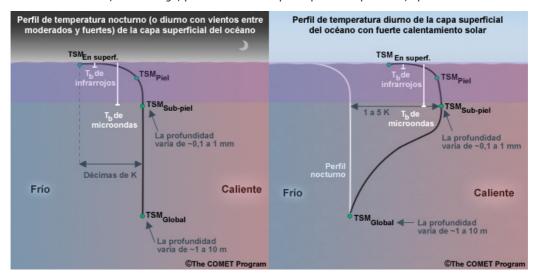


# 5.2.6 Interpretación de los datos de TSM de microondas

Un aspecto importante de la TSM obtenida por teledetección que a menudo no se tiene en cuenta es la profundidad del océano que corresponde a la temperatura de brillo observada desde el satélite.

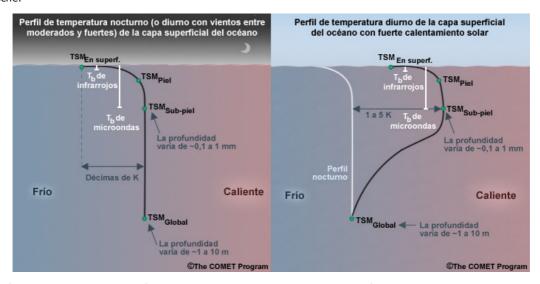
En el infrarrojo, la energía emitida desde la superficie oceánica proviene de una capa extremadamente fina de tan sólo unos micrómetros de profundidad que se conoce como la capa superficial o "piel".

La radiación de microondas, sin embargo, proviene de una capa un poco más profunda, aproximadamente 1 mm.

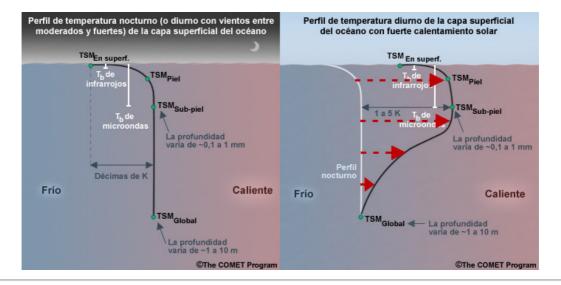


Por pequeña que parezca la diferencia en la profundidad, como permiten apreciar estas figuras, el impacto en las temperaturas de brillo y la TSM extraída puede ser considerable. Las consecuencias son importantes a la hora de interpretar la TSM obtenida por teledetección y para los esfuerzos continuos de fusionar en productos multisensor los valores de TSM infrarrojos y de microondas.

Si miramos de cerca los dos perfiles de temperatura, vemos que la TSM detectada por microondas suele ser más cálida que la correspondiente TSM obtenida por infrarrojo a razón de entre una décimas de un Kelvin y hasta uno o dos Kelvin, tanto de día como de noche y en ausencia de una capa nubosa gruesa. La capa de "piel" cerca de la superficie suele ser más fría debido a los efectos del enfriamiento evaporativo, que es especialmente fuerte cuando hay viento y un flujo de radiación ascendente entre el agua y el aire, un efecto particularmente fuerte en las horas de la noche.



También se nota que durante el día la capa de 1 a 10 metros superiores del océano experimenta cierto calentamiento (el perfil se desplaza hacia la derecha) debido a la absorción de los rayos solares.

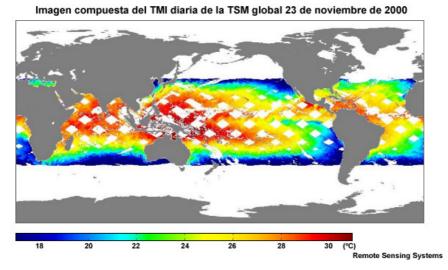


#### 5.3 Instrumentos y ejemplos de productos

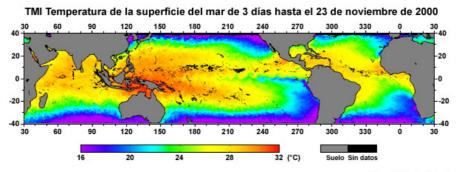
#### 5.3.1 Imágenes compuestas de TSM del TMI

Desde que fue lanzado en 1997, el generador de imágenes por microondas del TRMM (*TRMM Microwave Imager*, TMI) nos ha brindado una cobertura casi constante de la TSM en los trópicos bajo cualquier condición del tiempo. Su canal de baja frecuencia de 10,7 GHz, cuya calibración es excelente, constituyó una tecnología de punta para las primeras mediciones rutinarias de la TSM por medio de un sistema de microondas pasivo.

Esta imagen compuesta de los datos obtenidos por el TMI en las órbitas de un día muestra el típico patrón de órbitas entrecruzadas que deja pequeñas zonas sin cobertura debido a la franja de barrido relativamente estrecha de 750 km del instrumento. Observe que debido a la órbita casi ecuatorial del satélite TRMM, que fue diseñada para optimizar su misión de observación de los trópicos, la cobertura del TMI sólo abarca las regiones tropicales (aproximadamente 40 grados a ambos lados del ecuador).



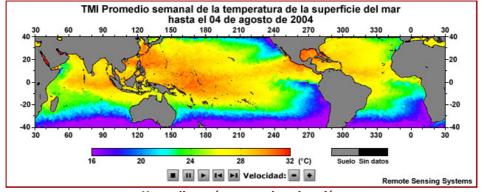
Esas zonas sin cobertura desaparecen muy rápidamente si promediamos los datos de unos pocos días, como en este mapa con datos de tres días. Sigue habiendo algunos lugares sin cobertura de TSM debido a la naturaleza persistente de la lluvia convectiva asociada con las zonas de convergencia tropicales del Pacífico y del Atlántico.



Remote Sensing Systems

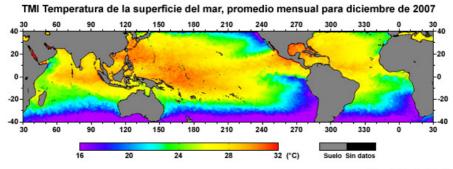
Si extendemos a una semana el período de composición de las imágenes, como en esta serie de imágenes de TSM semanales del TMI para agosto a octubre de 2004, la mayoría de las zonas sin cobertura debido a la precipitación

desaparecen. Las imágenes compuestas de tres día y de una semana son perfectas para observar los frentes oceánicos, las corrientes y las ondas de inestabilidad que se forman en los bordes hacia los polos de las corrientes ecuatoriales del Pacífico y del Atlántico.



Haga clic aquí para ver la animación

Finalmente, las imágenes mensuales pueden ayudarnos a observar los cambios en la TSM asociados con los patrones de escala más grande y los eventos tales como El Niño y La Niña. También nos ayudan a seguir la variabilidad de las estructuras más persistentes, como las corrientes y contracorrientes ecuatoriales y las principales corrientes limítrofes occidentales, entre las cuales se incluyen la Corriente del Golfo, la corriente de Kuroshio y la corriente africana de Agulhas.



Remote Sensing Systems

#### 5.3.2 Anomalías de TSM del TMI

Otro tipo de producto TSM conocido como producto anomalía de TSM es extremadamente útil para diagnosticar los patrones y las condiciones que se desvían de la media a largo plazo, como el ciclo recurrente de El Niño / La Niña en el océano Pacífico tropical. La animación siguiente comienza cerca de la máxima de un fuerte evento El Niño en 1997-1998 tal como se observa en la zona de aguas ecuatoriales calientes en el Pacífico oriental. Varios meses más tarde vemos que las aguas cálidas se han transformado en una zona creciente de aguas anormalmente frías, lo cual marca el comienzo de un evento La Niña.

Animación de anomalías de TSM de los océanos mundiales detectadas por el TMI entre diciembre de 1997

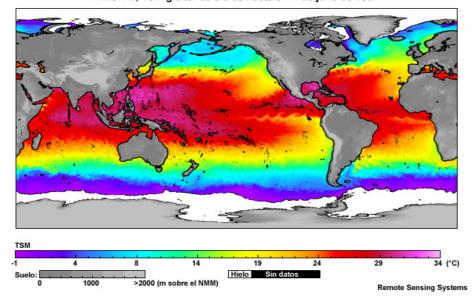
y junio de 1998 durante un evento El Niño

Haga clic aquí para ver la animación

# 5.3.3 Imágenes de TSM del AMSR-E

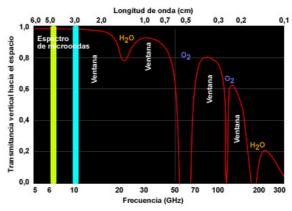
A diferencia de los productos generados por el TMI, los del AMSR-E extienden la cobertura de TSM a todo el globo. Desde que fue lanzado en noviembre de 2002, el generador de imágenes de microondas AMSR-E proporciona una cobertura diaria casi continua de los océanos de nuestro planeta. Al hacerlo ha demostrado una capacidad de percepción del océano que sirve de ejemplo para el diseño de los futuros sistemas de observación de microondas, como el futuro generador de imágenes de microondas NPOESS.

AMSR-E, TSM global de 3 días hasta el 11 de julio de 2007



El AMSR-E está equipado con un canal de baja frecuencia adicional de 6,9 GHz que cuando se utiliza en combinación con el canal de 10,7 GHz contribuye a aumentar la exactitud de los datos de TSM en comparación con el TMI.

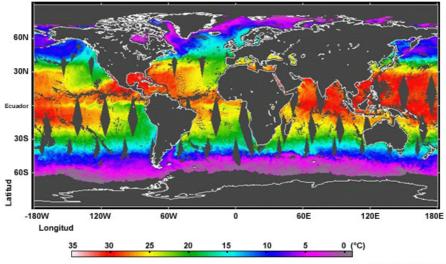
#### Espectro electromanético: microondas



©The COMET Program

Esta imagen compuesta de las órbitas ascendentes (diurnas) y descendentes (nocturnas) de un día del instrumento AMSR-E muestra el típico patrón de órbitas entrecruzadas que deja zonas sin cobertura en forma de rombos en los trópicos y las latitudes medias. La superposición de las órbitas en latitudes más altas asegura una cobertura completa y en algunas áreas representa varias pasadas al día.

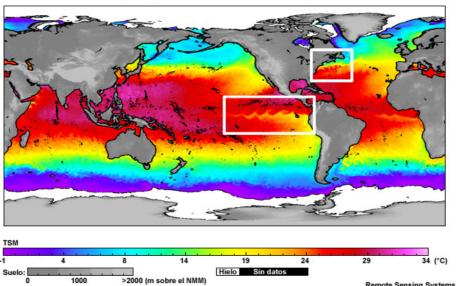
AMSR-E, cobertura de TSM global diaria, 11 de julio de 2007



NSIDC / NASA GSFC

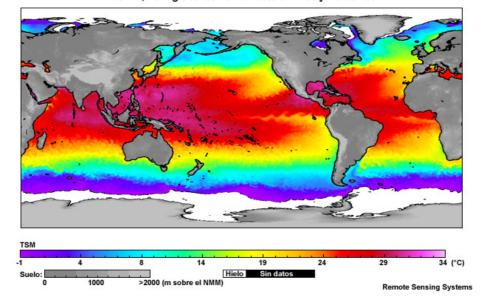
Si generamos una imagen compuesta para un período más largo de tres días (equivalente al del TMI), las zonas sin

cobertura desaparecen y los datos de TSM faltantes debido a la lluvia quedan reducidos al mínimo. Esta imagen compuesta nos permite identificar ciertas estructuras, como las ondas de inestabilidad junto al borde sur de la corriente ecuatorial del Pacífico y el fuerte gradiente de temperatura a lo largo del borde norte de la Corriente del Golfo.



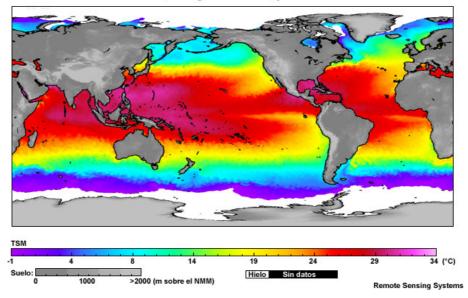
AMSR-E, TSM global de 3 días hasta el 11 de julio de 2007

En los productos compuestos semanales y mensuales podemos ver que han desaparecido incluso las áreas de precipitación más persistentes.



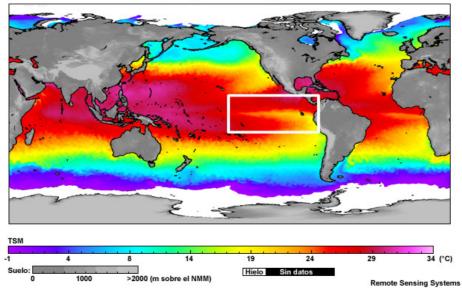
AMSR-E, TSM global semanal hasta el 14 de julio de 2007

# AMSR-E, TSM global mensual, julio de 2007

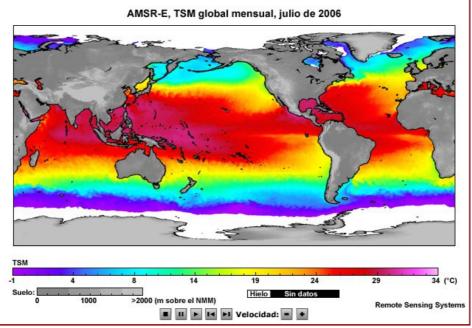


En la imagen compuesta mensual de julio se observan aún las corrientes de superficie y los gradientes de TSM con ellas asociados, mientras que esencialmente las estructuras transitorias como las olas y los remolinos se han suavizado hasta desaparecer.

AMSR-E, TSM global mensual, julio de 2007



Lo que queda visible en las imágenes compuestas mensuales son los gradientes relacionados con las corrientes principales, como la Corriente del Golfo y las corrientes ecuatoriales. Queda incluso más evidente la migración norte-sur anual de las TSM tropicales y subtropicales más calientes.



Haga clic aquí para ver la animación

# 5.4 Prestaciones de los instrumentos y características de los productos

# 5.4.1 Sistemas generadores de imágenes de microondas pasivos

Esta tabla presenta un resumen de los sistemas con instrumentos de microondas pasivos que en la actualidad nos permiten generar productos TSM y las características principales de dichos productos.

Se nota en seguida la ausencia de los instrumentos SSM/I, SSMIS y AMSU, los cuales no cuentan con los canales de baja frecuencia (10,7 GHz o menos) necesarios para las observaciones de TSM.

La futura generación de instrumentos generadores de imágenes de microondas, como los que eventualmente estarán a bordo de los satélites NPOESS, incluirán los canales de baja frecuencia necesarios para continuar las observaciones rutinarias de la TSM global para aplicaciones meteorológicas y climáticas.

Características de los productos temperatura de la superficie del mar de diversos sistemas de microondas pasivos

Instrumento (satélite)	Cobertura	Resolución del producto	тѕм
тмі (ТКММ)	24 horas     Satélites en órbita casi ecuatorial brindan cobertura para latitudes tropicales entre -40 y 40 grados de latitud	~25 km (0,25 grados)	Intervalo: ~3 a 35 °C Exactitud: 0,3 a 0,6 °C
AMSR-E (EOS Aqua)	Cada 12 horas temprano por la tarde y por la noche	~25 km (0,25 grados)	Intervalo: ~3 a 35 °C Exactitud: 0,3 a 0,6 °C
Futura sonda atmosférica/ generador de imágenes de microondas NPOESS	Cada 12 horas a partir del segundo satélite de la serie NPOESS	~70 km (baja frecuencia) ~ 14 km (frecuencia más alta)	Detalles de los productos a determinar

®The COMET Program

#### 5.4.2 Pregunta sobre los instrumentos

¿Cuáles de los siguientes sistemas con instrumentos de microondas pasivos generan mediciones rutinarias de la TSM? Seleccione todas las opciones pertinentes.

- a. AMSU y MHS
- b. TMI
- c. SSM/I y SSMIS
- d. SMMR
- e. AMSR-E

#### Haga clic aquí para ver las respuestas

Las respuestas b y e son correctas.

Explicación: En la actualidad sólo disponemos de datos rutinarios de TSM obtenidos por los instrumentos de

microondas TMI y AMSR-E. Los demás sensores de microondas, como el AMSU, el SSM/I y el SSMIS, no cuentan con los canales de baja frecuencias necesarios para extraer la TSM. Si bien el SSMR a bordo del satélite Nimbus-7 contaba con un canal de baja frecuencia de 6,6 GHz, debido a su calibración pobre no fue posible usar esas observaciones para extraer datos de TSM.

#### 5.4.3 Limitaciones de los productos

A la hora de examinar los productos TSM de microondas, conviene tener presentes ciertas limitaciones.

La precipitación, los litorales, el hielo marino, el destello solar y las áreas de vientos fuertes cerca de la superficie del mar representan las limitaciones y las fuentes de error más importantes.

Las áreas de precipitación y las mediciones a lo largo de las costas se eliminan. Para los litorales, la zona afectada normalmente abarca una franja de 50 a 70 km desde la costa, debido al campo de visión relativamente grande del radiómetro de microondas (50 a 60 km).

- Se omiten los valores de TSM del TMI y AMSR-E en las áreas de precipitación debido a la contaminación de los hidrometeoros de tamaño de precipitación; no se omiten los valores de capa nubosa.
- En las áreas de hielo marino donde la cobertura es incompleta, se puede estimar la cobertura fraccional y es aún posible medir la TSM. Cuando la cobertura del hielo marino alcanza el 100 %, la TSM se omite o se utiliza en su lugar una estimación climatológica adecuada para el lugar.
- Las TSM se separan o se omiten dentro de los 50 a 70 km de la costa debido al campo de visión relativamente grande del sensor de microondas y a la posible contaminación por las zonas de tierra firme.
- La exactitud de la TSM se degrada en cierta medida con el aumento en la velocidad del viento (hasta 20 m/s) y
  cuando la dirección del viento se vuelve más variable dentro del campo de visión del instrumento de microondas
  (50 a 70 km para los canales de baja frecuencia del TMI y del AMSR-E).
- Los valores de TSM se vuelven poco confiables y es posible que se omitan cuando la velocidad de los vientos de superficie supera los 20 m/s.
- La cobertura de espuma y la salinidad también contaminan la señal de TSM, pero este efecto se puede minimizar como parte del proceso de extracción.

#### 5.4.4 Pregunta 1 sobre la TSM

¿En cuáles de las siguientes condiciones se omite o no se recupera la TSM? Seleccione todas las opciones pertinentes.

- a. precipitación
- b. cobertura parcial por hielo marino
- c. vientos cerca de la superficie por debajo de 20 m/s
- d. capa nubosa gruesa
- e. litorales

# Haga clic aquí para ver las respuestas

Las respuestas a y e son correctas.

**Explicación:** Los valores en las áreas de precipitación y los litorales no se incluyen porque ocultan o contaminan considerablemente la señal de TSM. Por lo general, la contaminación por una capa parcial de hielo marino, vientos cerca de la superficie por debajo de 20 m/s y una capa nubosa gruesa se puede eliminar, pero en algunos casos esto causa una reducción de la exactitud de la TSM.

#### 5.4.5 Pregunta 2 sobre la TSM

¿Cuáles de las siguientes condiciones de la superficie oceánica afectan la exactitud de la TSM?

- a. superficie oceánica calma
- b. vientos en la superficie cerca de 20 m/s
- c. salinidad
- d. espuma
- e. dirección variable del viento

# Haga clic aquí para ver las respuestas

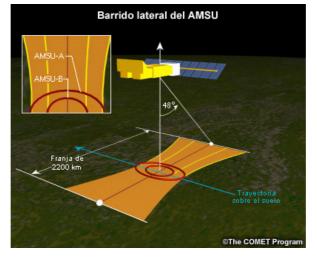
Las respuestas b, c, d y e son correctas.

**Explicación:** Entre los factores que pueden reducir la exactitud de la TSM se incluyen vientos oceánicos entre moderados y fuertes, dirección variable del viento, salinidad y espuma en el océano, porque alteran la emisividad de microondas de la superficie oceánica. Si no se tienen en cuenta durante el proceso de extracción, estas condiciones pueden aumentar o reducir la TSM aparente.

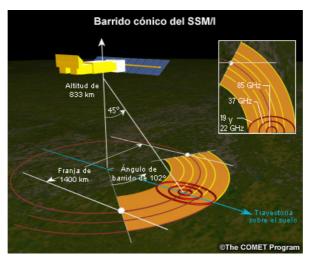
#### 6.0 Limitaciones de los productos

### 6.1 Comparación de la resolución espacial de los instrumentos de barrido cónico y lateral

La resolución espacial sufre cierta degradación hacia el borde de la franja de barrido de los instrumentos de barrido lateral, como la unidad avanzada de sondeo con microondas (*Advanced Microwave Sounding Unit*, AMSU) y la sonda de humedad por microondas (*Microwave Humidity Sounder*, MHS).



En el caso de los instrumentos de barrido cónico, como el SSM/I, el SSMIS, el AMSR-E y el futuro generador de imágenes de microondas NPOESS, la resolución permanece constante a través de la franja de barrido.

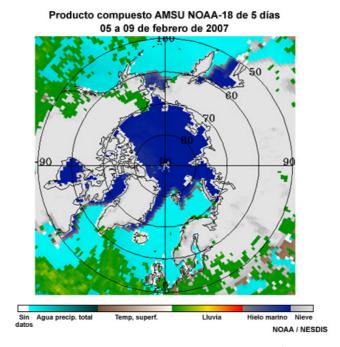


El impacto de la degradación que sufren los instrumentos de barrido lateral en los productos derivados es la generación de píxeles que contienen datos un poco borrosos hacia el borde de la franja de barrido, a diferencia de los instrumentos de barrido cónico, cuya información a nivel de píxel no se ve afectada a través de la franja de barrido.

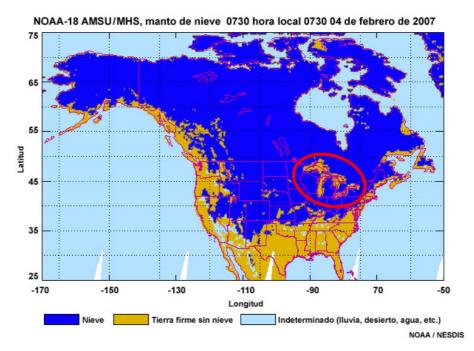
# 6.2 Zonas de contacto entre tierra firme y agua

Es común que los algoritmos de generación de productos cubran con una máscara o intenten aplicar algún factor de corrección a lo largo de las zonas limítrofes costeras, ya que en caso contrario los píxeles podrían incluir información de radiación proveniente de las superficies de agua y de tierra firme, especialmente en el caso de los sensores de resolución espacial más baja, como el AMSU.

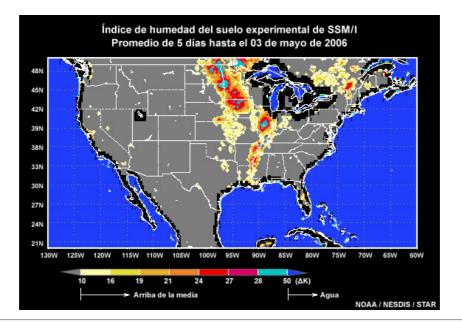
El primer ejemplo es una imagen AMSU compuesta de cinco días de varios elementos atmosféricos y de superficie. En el producto podemos ver píxeles a lo largo de las zonas costeras, algunos de los cuales fueron corregidos y otros, en blanco, que fueron omitidos.



La segunda imagen en un producto manto de nieve en el cual podemos ver la región de los Grandes Lagos. Observe la omisión de varios píxeles en las costas (color oro). Esto se debe a una combinación de señales de las superficies de tierra firme y agua.

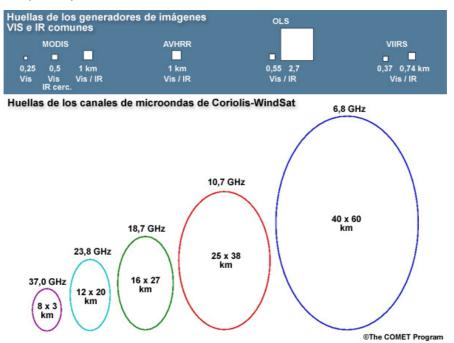


La última imagen muestra un producto humedad de superficie derivado de datos del AMSU. En este producto se nota donde se han ocultado los píxeles de las regiones costeras (en negro) debido a que hay buenas probabilidades de que la huella relativamente grande del AMSU contenga datos que corresponden a las superficies de tierra firma y de agua.

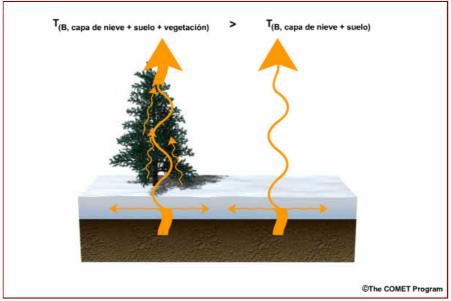


# 6.3 Productos superficie terrestre

Debido a la huella relativamente grande de los instrumentos satelitales de microondas en comparación con los instrumentos convencionales en el visible e infrarrojo, es probable que los productos tales como manto de nieve y humedad del suelo que muestran la superficie del suelo estén contaminados y degradados cuando el área de la huella abarca más de un tipo de superficie.



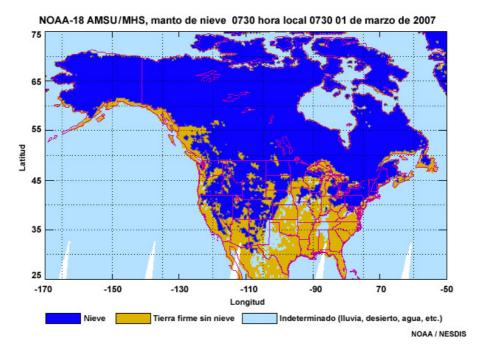
La vegetación densa y los bosques también pueden complicar el proceso de extracción y degradar la calidad de los productos, ya que tienden a encubrir la señal de microondas de la superficie contribuyendo a la radiación saliente y cambiando sus características de polarización.



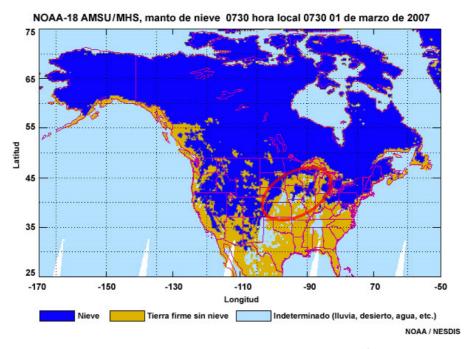
Haga clic aquí para ver la animación

# 6.4 Precipitación

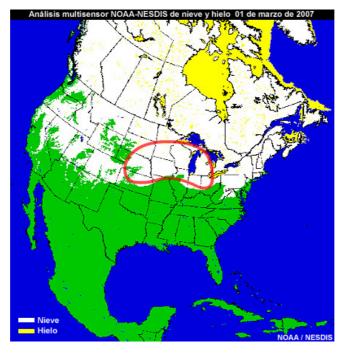
Las áreas con capa nubosa gruesa y precipitación entre moderada y fuerte absorben o dispersan la radiación de microondas emitida por la superficie, encubriendo la señal de la superficie. Muchos algoritmos resaltan o incluyen indicadores de la calidad de los píxeles cuyos datos son sospechosos o pueden verse afectados por la precipitación y cantidades grandes de agua líquida en las nubes, normalmente más de 0,3 mm.



En este ejemplo, las áreas de precipitación y las capas nubosas gruesas (en celeste) limitan la capacidad del AMSU de proyectar en el mapa el manto de nieve para ciertas partes del norte del Medio Oeste en el momento en que una tormenta de invierno afectaba la región.



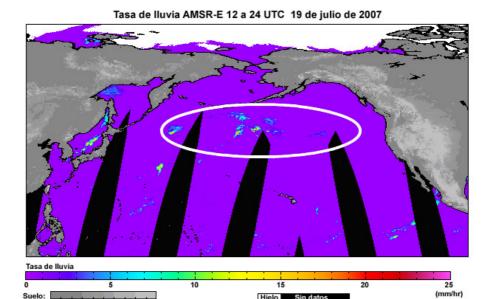
Los análisis multiespectrales del manto de nieve realizados por NESDIS en el mismo día muestran la capa de nieve, mientras el producto manto de nieve del AMSU (imagen anterior) muestra suelo desnudo (probablemente debido a una gruesa capa nubosa) o precipitación (en celeste).

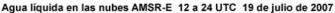


Este ejemplo de AMSR-E ilustra el impacto del agua líquida en las nubes y la lluvia en un análisis de TSM centrado en partes del océano Pacífico norte.

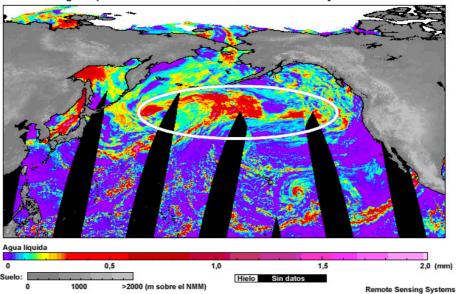
Se han omitido grandes partes del producto TSM (en negro) donde se sabe que la precipitación y el agua líquida en las nubes mayor de 0,3 mm contaminan las emisiones de microondas desde la superficie oceánica.

Es asimismo importante notar que las bandas negras con orientación vertical son regiones sin cobertura entre órbitas consecutivas y no están relacionadas con las selección de datos.





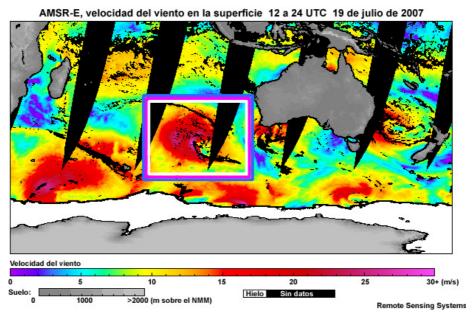
>2000 (m sobre el NMM)



# 6.5 Viento cerca de la superficie del mar

Los vientos fuertes cerca de la superficie del mar, de más de 20 m/s, agitan la superficie oceánica hasta el punto en que las emisiones de microondas aumentan y contaminan en medida considerable la extracción de temperatura de la superficie del mar.

En este ejemplo, los fuertes vientos de superficie asociados con una intensa tormenta en el suroeste de Australia...



...contaminaron los valores de TSM sobre una zona muy grande (en negro).

>2000 (m sobre el NMM) Remote Sensing Systems

AMSR-E, temperaturas de la superficie del mar, 12 a 24 UTC, 19 de julio de 2007

#### 7.0 Resumen

#### 7.1 Resumen del módulo

# Descripción general

- La tecnología de teledetección por microondas desempeña un rol importante en la observación, caracterización y monitorización de los cambios en las superficies oceánicas y terrestres del mundo por varios motivos, como, entre otros, la capacidad de:
  - o efectuar observaciones de día y de noche;
  - o detectar variaciones en las emisiones de microondas terrestres independientemente de las condiciones de iluminación;
  - o observar estructuras en la superficie cuando existe una capa nubosa y en la gran mayoría de las condiciones atmosféricas;
  - o brindar observaciones en lugares donde las observaciones in-situ son escasas o inexistentes.
- Este módulo estudia la teledetección de las emisiones de microondas de las siguientes cuatro estructuras de la superficie:
  - o humedad del suelo y humedad de superficie
  - o manto de nieve y equivalente en agua de la nieve
  - o hielo marino
  - o temperatura de la superficie del mar (TSM)
- La cantidad de radiación de microondas emitida por la superficie terrestre depende de las interacciones entre la energía y los diversos elementos y estructuras que componen la superficie.

23-10-2009 16:09 111 of 115

• Los sistemas con instrumentos de microondas pasivos miden la radiación terrestre emitida, sus propiedades y los cambios que ocurren en distintas regiones del espectro de microondas para distinguir los elementos sólidos, líquidos y congelados en las superficies oceánicas y terrestres, y para inferir ciertas propiedades físicas específicas asociadas a dichos elementos.

# Humedad del suelo/humedad de superficie

- La humedad del suelo juega un papel fundamental en la condición de las superficies de tierra firme de nuestro planeta, y afecta directamente nuestra salud, nuestra seguridad y sectores tales como transporte, agricultura, actividades militares y la economía de todos los países del mundo.
- La humedad del suelo es un aspecto esencial para comprender, modelar y predecir la hidrología, los ecosistemas, el tiempo y el clima en tierra firme.
- Los modelos de predicción meteorológica requieren información exacta sobre la humedad del suelo para poder pronosticar con exactitud el momento, el lugar y la intensidad de las circulaciones locales del viento y el desarrollo de las nubes y la precipitación.
- Las observaciones desde los satélites en orbita polar brindan una cobertura repetida sobre áreas grandes con una resolución prácticamente uniforme, algo ideal para trabajo de generación de mapas, observación y modelado.
- La radiación de microondas es muy sensible a los cambios en la humedad de superficie y penetra todas las capas nubosas salvo las más densas y las que producen precipitación.
- Si bien el enfoque tradicional para la extracción de datos de humedad del suelo depende del uso de instrumentos satelitales con sistemas de microondas pasivos, las aplicaciones con los instrumentos de microondas activos están creciendo en importancia.
- En los futuros satélites NPOESS, la combinación de mediciones de la humedad del suelo con sistemas de microondas pasivos y datos sobre vegetación y tipos de suelos derivados del VIIRS permitirá efectuar mejores observaciones de las condiciones de humedad del suelo casi en tiempo real.
- En regiones abiertas con vegetación relativamente escasa, el contenido de humedad del suelo superficial es el factor predominante en las emisiones de radiación de microondas desde la superficie.
- Las observaciones satelitales de la temperatura de brillo realizadas con frecuencias de 10 a 100 GHz permiten cuantificar la emisividad y extraer información sobre varios parámetros de superficie, como la humedad del suelo.
- La fuerte reducción en la emisividad asociada con la humectación del suelo se puede detectar con instrumentos de microondas pasivos que incorporan canales de frecuencias más bajas en la región de 6 a 10 GHz, como los sistemas SSM/I y SSMIS, y especialmente con el AMSR-E y los futuros instrumentos de microondas de NPOESS.
- Los canales de bajas frecuencias de microondas se prefieren para la extracción de datos de humedad del suelo por su sensibilidad al agua y su capacidad de penetrar el suelo a mayor profundidad.
- La extracción de información sobre la humedad del suelo es un proceso relativamente complejo que suele incluir modelos e información de climatografía de la capa del suelo.
- Entre los canales de microondas usados en muchos instrumentos pasivos, como SSM/I, SSMIS, AMSR-E, WindSat y el futuro generador de imágenes de microondas NPOESS, se incluyen los de 10,6, 18,7-23 y 85-89 GHz.
- La interferencia de radiofrecuencia es un efecto aparente en las temperaturas de brillo de 6 a 7 GHz, especialmente en la proximidad de ciudades grandes y carreteras importantes. Estas interferencias contaminan fuertemente los datos empleados para generar ciertos tipos de productos satelitales de microondas, como los de humedad del suelo.
- Se está tratando de reservar ciertas frecuencias para uso exclusivo del trabajo de detección satelital y se están diseñando sistemas de detección capaces de minimizar el impacto de las interferencias de microondas existentes.
- Entre los actuales sistemas con instrumentos de microondas pasivos que generan productos humedad del suelo, los datos del SSM/I y del SSMIS se usan para derivar un índice experimental de humedad de la superficie y los datos del AMSR-E se utilizan para derivar un producto que estima el contenido de humedad del suelo cerca de la superficie.
- Los instrumentos de microondas activos a bordo de los satélites polares ERS-2 y MetOp parecen muy prometedores para solucionar el problema de extracción de la humedad del suelo.
- Varias aplicaciones emergentes basadas en los datos del dispersómetro ERS-2 y del dispersómetro avanzado de MetOp (ASCAT) permiten generar mapas de la humedad del suelo diarios y a nivel mundial.
- La mayoría de los productos humedad del suelo representan la humedad en la capa superior de 0 a 3 cm.
- La calidad del producto se degrada en zonas de vegetación o selva densa. Algunos productos quitan estas áreas.
- La extracción de la humedad del suelo es problemática y produce resultados de calidad inferior en zonas de terreno complejo y tipos de superficies muy variables.
- La calidad de los productos se degrada a lo largo de litorales y en áreas con lagos y ríos.
- La extracción satelital de la humedad del suelo es problemática cuando hay precipitación.
- Algunos productos humedad del suelo no incluyen valores cuando existen condiciones de nieve o hielo dentro de la huella (campo de visión) del instrumento.

# Manto de nieve y equivalente en agua

- Es esencial estar al tanto del manto de nieve y sus propiedades sobre extensas regiones para trabajar en muchos campos, como el pronóstico de inundaciones, la administración de los recursos hídricos, la producción de energía hidroeléctrica, el modelado de incendios forestales y la observación del clima.
- La profundidad y la extensión de la capa de nieve acumulada afectan en medida considerable el estilo de vida y la economía de muchas comunidades.
- La teledetección del manto de nieve brinda una serie de ventajas frente a las técnicas tradicionales de medición

directa in situ por las razones siguientes:

- las observaciones satelitales cubren áreas grandes con una resolución casi uniforme, algo ideal para la generación de mapas y el modelado;
- o los satélites pueden extraer datos para regiones del globo donde obtener mediciones directas puede llevar mucho tiempo e incluso resultar prácticamente imposible.
- La cantidad de radiación de microondas emitida por la superficie terrestre se ve fuertemente afectada por la presencia y las propiedades del manto de nieve.
- En comparación con la radiación visible e infrarroja, la energía de microondas emitida no proviene únicamente de la superficie de la capa de nieve acumulada, sino de zonas a mayor profundidad dentro de la capa de nieve.
- La percepción remota por microondas es sensible a la profundidad y densidad de la nieve acumulada, así como a
  otros factores tales como el tamaño de los granos, el equivalente en agua de la nieve, la temperatura del manto de
  nieve, la condición seca o mojada y las condiciones del suelo debajo de la capa de nieve acumulada.
- La comprensión de la relación entre las emisiones de microondas y la dinámica de la capa de nieve acumulada nos
  permite estudiar y estimar ciertas propiedades importantes debajo de la superficie, como el equivalente en agua de
  la nieve.
- La gran medida en que la energía de microondas emitida por un manto de nieve depende de la longitud de onda es el factor principal que nos permite emplear técnicas de diferenciación de canales para recuperar información sobre las condiciones de la capa de nieve.
- El canal de 37 GHz se utiliza ampliamente en la teledetección de nieve debido a la fuerte caída de la temperatura de brillo de la capa de nieve en comparación con el suelo desnudo.
- Es frecuente comparar los canales de 37 y 19 GHz para distinguir las características de la capa de nieve.
- Por otra parte, las longitudes de onda más cortas no alcanzan la misma profundidad de penetración en la capa de nieve acumulada, motivo por el cual se suelen evitar las bandas más allá de 89 GHz.
- También se evita el uso del canal de 22 GHz, debido a la fuerte atenuación por el vapor de agua.
- Muchos factores ambientales pueden complicar nuestra capacidad de estimar el equivalente en agua de la nieve, incluso ciertos aspectos de la capa de nieve en si, como la presencia de nieve mojada en estado de fusión, la vegetación y la temperatura de la superficie subyacente.
- Los enfoques multiespectrales que incluyen el uso de diferentes frecuencias y datos de polarización pueden ayudarnos a identificar los efectos de la vegetación y reducir al mínimo la medida en que contamina los datos.
- Entre los sistemas con instrumentos de microondas pasivos utilizados para derivar productos manto de nieve como la profundidad de la nieve acumulada y el equivalente en agua de la nieve se incluyen el SSM/I y el SSMIS a bordo de los satélites DMSP, los instrumentos AMSU y MHS a bordo de los satélites NOAA y MetOp y el AMSR-E a bordo del satélite EOS Aqua.
- El instrumento sonda atmosférica/generador de imágenes de microondas que está pensado para NPOESS será capaz de una mejor caracterización del manto de nieve y permitirá seguir acumulando los datos climáticos históricos
- En la actualidad no se extraen equivalentes en agua de la nieve para terreno montañoso.
- La extracción del equivalente en agua de la nieve es problemática sobre suelos congelados, desiertos fríos y capas de hielo.
- Los productos están contaminados en zonas arboladas (algunos algoritmos son capaces de corregir parcialmente la cobertura y densidad).
- Los productos están degradados a lo largo de las costas, en zonas urbanas y otras regiones con tipos de superficies muy variables.
- Los productos no se extraen cuando existe precipitación líquida, ni bajo condiciones de capas de nieve húmeda o en fase de fusión.

# **Hielo marino**

- Es esencial contar con una representación exacta del hielo marino para el trabajo de pronóstico meteorológico, observación de ecosistemas, transporte de mercancías y estudio de las economías mundiales.
- Ciertas tendencias que se han observado recientemente en el hielo marino del océano Ártico subrayan la importancia de las observaciones para nuestra comprensión del sistema climático global y para hacer predicciones relacionadas
- Los sensores de microondas en órbita polar constituyen una herramienta que permite observar el estado de la superficie del mar en todas las condiciones meteorológicas, incluida la extensión y evolución del hielo marino.
- La teledetección por microondas del hielo marino es el complemento perfecto para las observaciones satelitales convencionales y las observaciones terrestres.
- La capa de hielo sobre los océanos, lagos y ríos se distingue fácilmente del agua en las imágenes generadas con los instrumentos de microondas a frecuencias menores de 90 GHz porque las superficies de agua son emisores relativamente pobres (pero buenos reflectores) de la energía de microondas.
- A medida que el hielo envejece se producen cambios importantes en las emisiones de microondas y las propiedades de polarización. Esto constituye la base para la detección de las propiedades del hielo marino tales como cantidad fraccional y edad aproximada.
- Los productos capa de hielo obtenidos por microondas hacen uso de las frecuencias sensibles a la radiación emitida entre 7 y 100 GHz (longitudes de onda de 4,3 a 0,3 cm).
- Debido a su relativamente baja sensibilidad a las nubes y el vapor de agua, las frecuencias entre 10 y 37 GHz producen la mejor información sobre las capas de hielo.

- Las frecuencias más altas (entre 50 y aproximadamente 89 GHz) se utilizan para identificar y corregir aquellas áreas que pueden haber sido contaminadas por precipitación y pueden corregir la contaminación provocada por las condiciones de la capa superficial, como hielo muy fino, una estructura en capas o hielo cubierto por una capa cristalina.
- Entre los sistemas con instrumentos de microondas pasivos que en la actualidad generan datos para estimar el hielo marino y su concentración se incluyen el SSM/I y el SSMIS, el AMSR-E y el AMSU.
- Las diferencias entre los productos hielo marino se deben principalmente a la resolución espacial de los sensores y a la manera en que los algoritmos manejan varios efectos de la superficie y atmosféricos.
- En la actualidad, AMSR-E es el único instrumento que genera productos estándar de temperatura del hielo marino y
  profundidad del manto de nieve, además de los de concentración del hielo.
- Los productos hielo marino pueden sufrir cierta degradación en zonas donde el viento provoca turbulencia en la superficie oceánica y donde las condiciones atmosféricas son inclementes.
- Los productos pueden sufrir cierta degradación y la cobertura de hielo sobre o subestimarse cuando las condiciones de superficie incluyen agua acumulada sobre el hielo marino, capa de hielo fino, superficies cristalinas, varias capas, manto de nieve y variaciones en el tipo y la temperatura del hielo dentro de la huella (campo de visión) del instrumento.

#### Temperatura de la superficie del mar

- La temperatura de la superficie del mar (TSM) y su variación son factores que están estrechamente ligados al intercambio de energía, momento y humedad entre el océano y la atmósfera.
- La temperatura de superficie de los océanos de nuestro planeta juega un papel central en la variabilidad de los regímenes meteorológicos y climáticos regionales y mundiales, así como en la salud y el bienestar de la vida oceánica.
- El ciclo de episodios recurrentes de El Niño y La Niña, cuyos impactos sobre el tiempo y el clima a nivel regional se sienten en lugares muy alejados de las aguas del océano Pacífico ecuatorial, constituye un ejemplo claro y muy bien conocido del acoplamiento entre el océano y la circulación atmosférica.
- La TSM afecta la génesis y evolución de los sistemas meteorológicos y los ciclones tropicales.
- Los cambios en la intensidad de los huracanes están fuertemente vinculados a la TSM y el contenido de calor del océano superior.
- Los efectos de las corrientes principales en las capas superiores del océano, como el transporte de calor hacia los
  polos, los patrones de convección y precipitación oceánica, y la distribución de nutrientes y producción oceánica,
  son importantes.
- Las observaciones de TSM nos permiten ver los gradientes térmicos y las fronteras claramente demarcadas que suelen asociarse a estas importantes circulaciones oceánicas.
- Existe una fuerte correlación entre las concentraciones de nutrientes y la producción primaria en los océanos y la temperatura de la superficie del mar.
- Las circulaciones diurnas de brisas de tierra y de mar muestran cómo los contrastes en temperatura entre agua y tierra afectan el tiempo y el clima local.
- Una descripción detallada de la TSM y sus variaciones a lo largo de las costas constituye un elemento importante para pronosticar el desarrollo de brisas de tierra y de mar y el potencial de convección.
- La medición de la TSM desde satélites en órbita polar permite generar una cobertura completa de los océanos de nuestro planeta en un período de uno o dos días de un único instrumento, lo cual tiene implicancias importantes para la observación de los cambios en el clima y el tiempo a nivel mundial.
- La medición de la TSM desde los satélites en orbita polar brinda una cobertura repetida a intervalos regulares sobre áreas oceánicas remotas donde el tráfico marítimo es escaso y la instalación de boyas es difícil.
- Los sistemas de radiómetros de microondas pasivos con canales de baja frecuencia pueden penetrar las nubes no precipitantes, son relativamente poco sensibles a los gases atmosféricos y no se ven afectados por aerosoles ni polyo
- La combinación de propiedades orbitales y del instrumento significa que los radiómetros de microondas más nuevos como el AMSR-E y el futuro instrumento generador de imágenes/sonda de microondas de NPOESS son ideales para la observación de la TSM a largo plazo.
- La disponibilidad de radiómetros de microondas bien calibrados para realizar determinaciones de TSM exactas comenzó en 1997 con el TMI, abordo del TRMM, que nos brinda una vista de todas las superficies oceánicas tropicales bajo cualquier condición meteorológica salvo la lluvia.
- En 2002 el generador de imágenes de microondas AMSR-E se unió al satélite TRMM y ahora nos brinda cobertura global de los océanos de nuestro planeta.
- Está previsto un generador de imágenes de microondas de próxima generación para los futuros satélites NPOESS, con prestaciones específicas que permitirán continuar las observaciones de la TSM global para aplicaciones meteorológicas y climáticas.
- Debido a su sensibilidad a los cambios de TSM, es común utilizar las frecuencias de microondas más bajas, entre 6 y 10 GHz, para extraer la TSM.
- Si bien las frecuencias más allá de 10 GHz aportan poca información adicional sobre la TSM, sí juegan un papel
  importante para caracterizar una serie de factores que se emplean en el proceso de extracción, como la cantidad de
  vapor de agua, nubes, precipitación y agitación del mar en relación con la velocidad y dirección del viento.
- Las emisiones de radiación de microondas que observamos se originan en la capa de 1 mm de espesor de la superficie del agua, mientras que las observaciones infrarrojas son sensibles a una capa o "piel" incluso más delgada de unos cuantos micrómetros de profundidad.

- La pequeña diferencia en las mediciones de profundidad pueden afectar en medida considerable las temperaturas de brillo del satélite y las TSM extraídas, de modo que se deben tener en cuenta a la hora de interpretar los productos y al generar productos de TSM multisensor.
- Entre los actuales sistemas con instrumentos de microondas pasivos que brindan mediciones rutinarias de TSM se incluyen el TMI (generador de imágenes de microondas del TRMM) y el Aqua AMSR-E.
- Los instrumentos SSM/I, SSMIS y AMSU no generan productos de TSM porque no cuentan con los canales de baja frecuencia (10,7 GHz o menos) necesarios.
- Las imágenes de TSM compuestas diarias, semanales y mensuales minimizan o eliminan por completo las zonas sin datos que se deben a precipitación y otros efectos de la superficie oceánica, como la turbulencia del océano causada por el viento o la cobertura fraccional del hielo marino.
- La animación de las imágenes de TSM puede resaltar muchas estructuras oceánicas importantes e interesantes que están relacionadas con los procesos constantes en la zona de contacto entre el aire y el agua del mar, como corrientes, frentes, remolinos y ondas de inestabilidad.

# Limitaciones de los productos

- La resolución espacial y, en consecuencia, la calidad de los productos, sufren cierta degradación hacia el borde de la franja de barrido de los instrumentos de microondas, como el AMSU y el MHS.
- Debido a la huella relativamente grande de los instrumentos satelitales de microondas en comparación con los instrumentos convencionales en el visible e infrarrojo, es probable que los productos tales como manto de nieve y humedad del suelo que muestran la superficie del suelo estén contaminados y degradados cuando el área de la huella abarca más de un tipo de superficie.
- Muchos algoritmos de generación de productos eliminan las zonas costeras o aplican un factor de corrección, porque los píxeles individuales pueden incluir información de radiación proveniente de las superficies de agua y de tierra firme.
- La vegetación densa y los bosques también pueden complicar el proceso de extracción y degradar la calidad de los productos, ya que tienden a encubrir la señal de microondas de la superficie contribuyendo a la radiación saliente y cambiando sus características de polarización.
- Las áreas con capa nubosa gruesa y precipitación entre moderada y fuerte encubren la señal de superficie y pueden limitar la capacidad de trazar en mapas y caracterizar las estructuras en la superficie.
- Muchos algoritmos de generación de productos resaltan o incluyen indicadores de la calidad de los píxeles cuyos datos son sospechosos o pueden verse afectados por la precipitación y cantidades grandes de agua líquida en las nubes.
- Los vientos fuertes cerca de la superficie del mar, de más de 20 m/s, agitan la superficie oceánica hasta el punto en que las emisiones de microondas aumentan y contaminan en medida considerable la extracción de temperatura de la superficie del mar y hielo marino en las zonas de contacto hielo-océano y en las áreas de cobertura fraccional de hielo marino.

#### Volver al comienzo

# iFelicitaciones!

Acaba de terminar de estudiar el módulo *Percepción remota por microondas: aplicaciones terrestres y de superficie oceánica*. Ahora puede tomar la **prueba del módulo** para averiguar lo que ha aprendido.

No se olvide que para nosotros siempre es un placer recibir su opinión sobre nuestros materiales de formación. Tómese unos minutos para completar la <u>encuesta</u> y envíenos sus observaciones acerca de este módulo.

Volver al comienzo

Copyright 2008, <u>University Corporation for Atmospheric Research</u>. Reservados todos los derechos.

<u>Avisos legales</u>