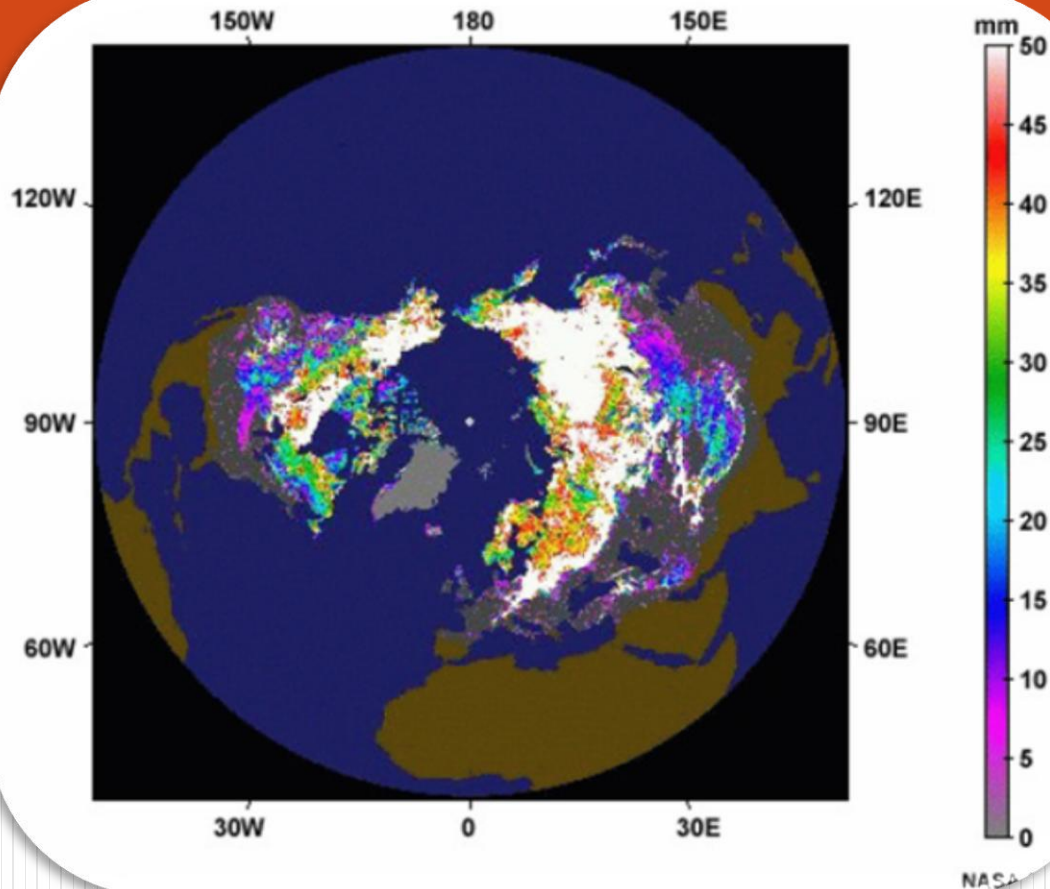


Manto de neve e equivalente em água



UNIVERSIDADE DE AVEIRO
Departamento de Física
Detecção Remota

Raquel Diogo, 38961

2011/2012

Porquê usar técnicas de teledetecção do manto de neve?

A necessidade da cobertura de neve

É essencial conhecer a neve e as suas propriedades sobre regiões extensas para trabalhar em campos como a previsão de inundações, gestão de recursos hídricos, produção de energia hidroelétrica, a modelagem de incêndios florestais e monitorização do clima, entre outros.

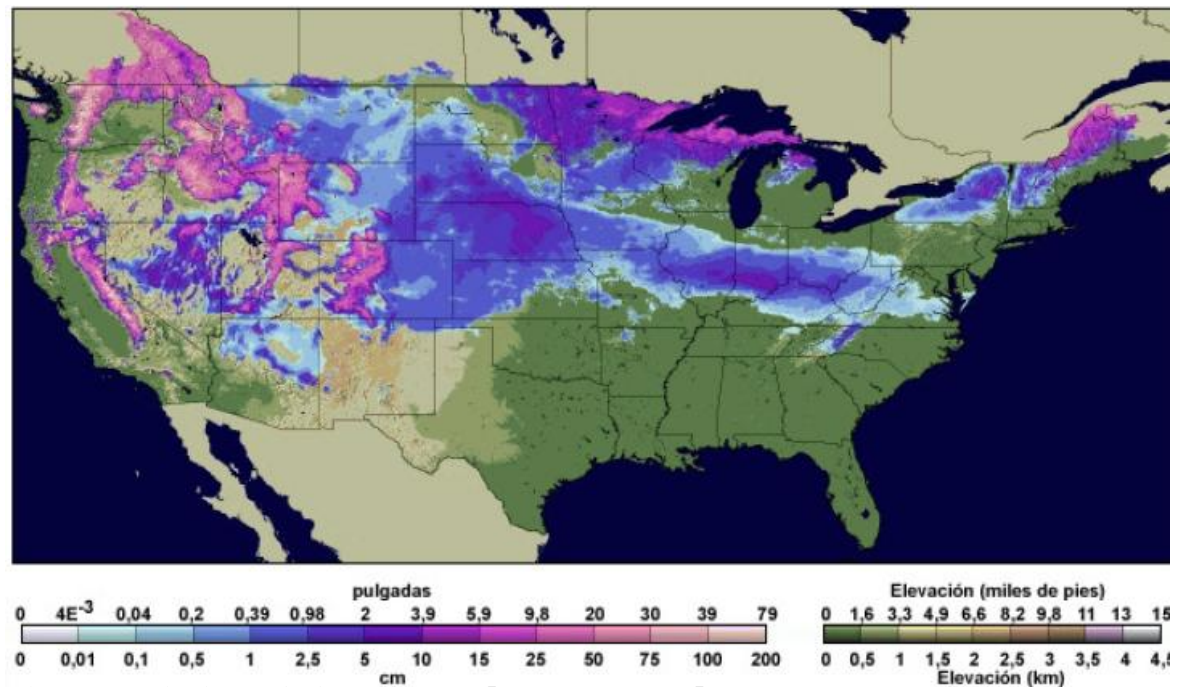


Fig. 1 – Equivalente de água da neve [22 Março 2006]

NOAA / NWS / NCEP

Além disso, a profundidade e a extensão da cobertura da neve acumulada afectam em grande medida o estilo de vida e a economia de muitas comunidades.

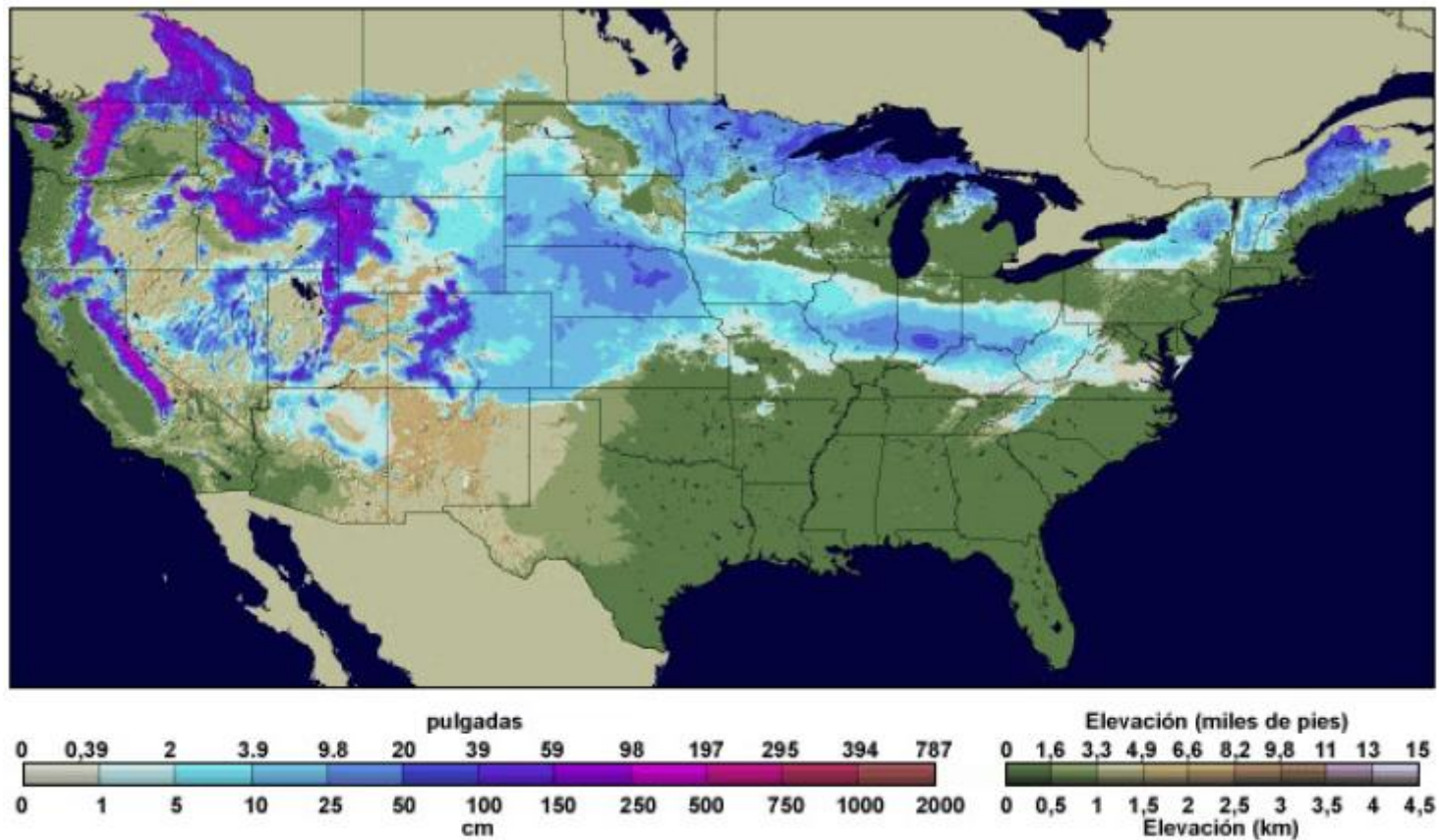


Fig. 2– Profundidade da neve [22 Março 2006]

NOAA / NWS / NOHRSC

A teledetecção da cobertura de neve fornece uma série de vantagens em relação às técnicas tradicionais de medição. As observações de satélite cobrem áreas extensas com uma resolução quase uniforme – ideal para o mapeamento e modelagem. Além disso, os satélites podem obter dados de regiões do globo onde obter dados a partir das técnicas tradicionais de medição seria demorado e praticamente impossível.

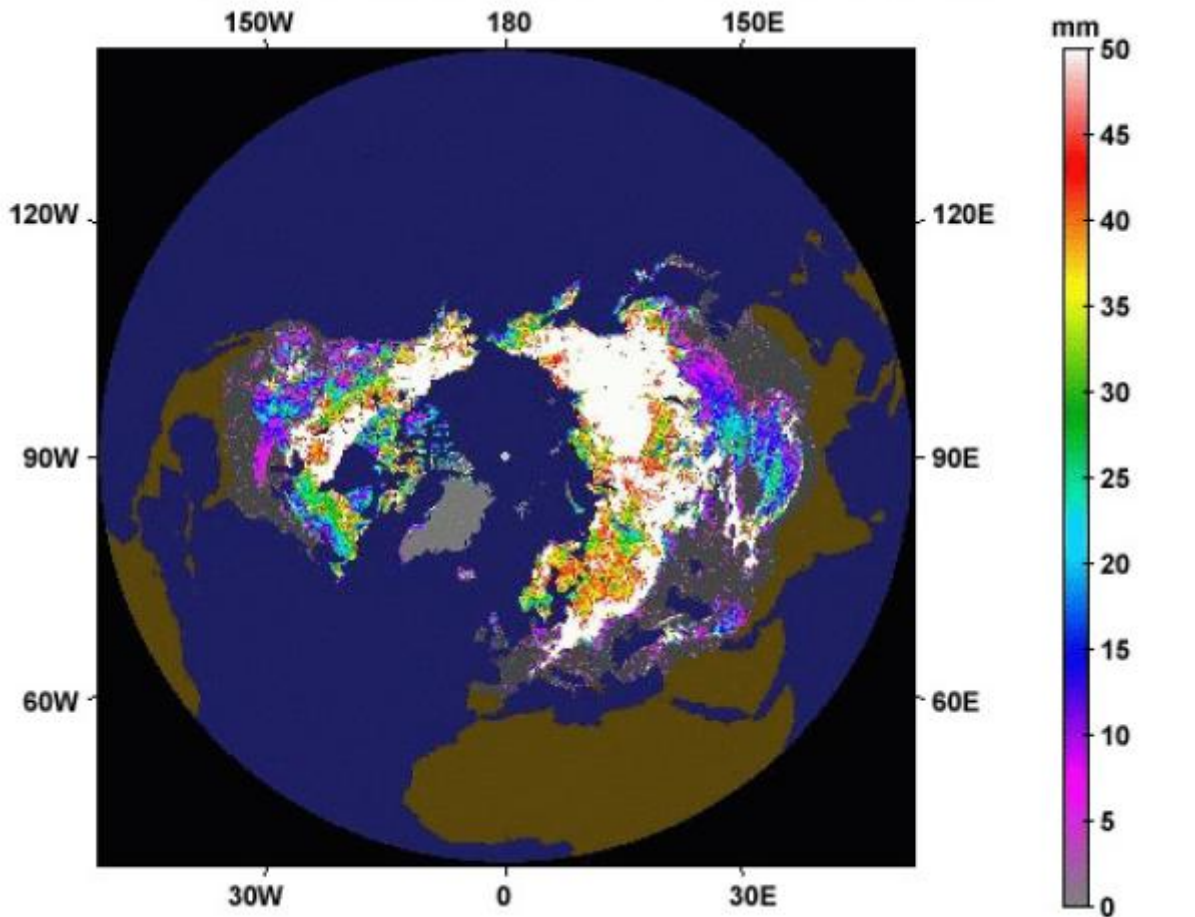


Fig. 3– Aqua AMSR-E, equivalente de água da neve sobre o Hemisfério Norte durante 5 dias [22-26 Março 2006]

Em relação com a observação da cobertura da neve, a capacidade da teledetecção por microondas dos satélites em órbita polar fornece muitas vantagens sobre as observações convencionais no visível e no IV.

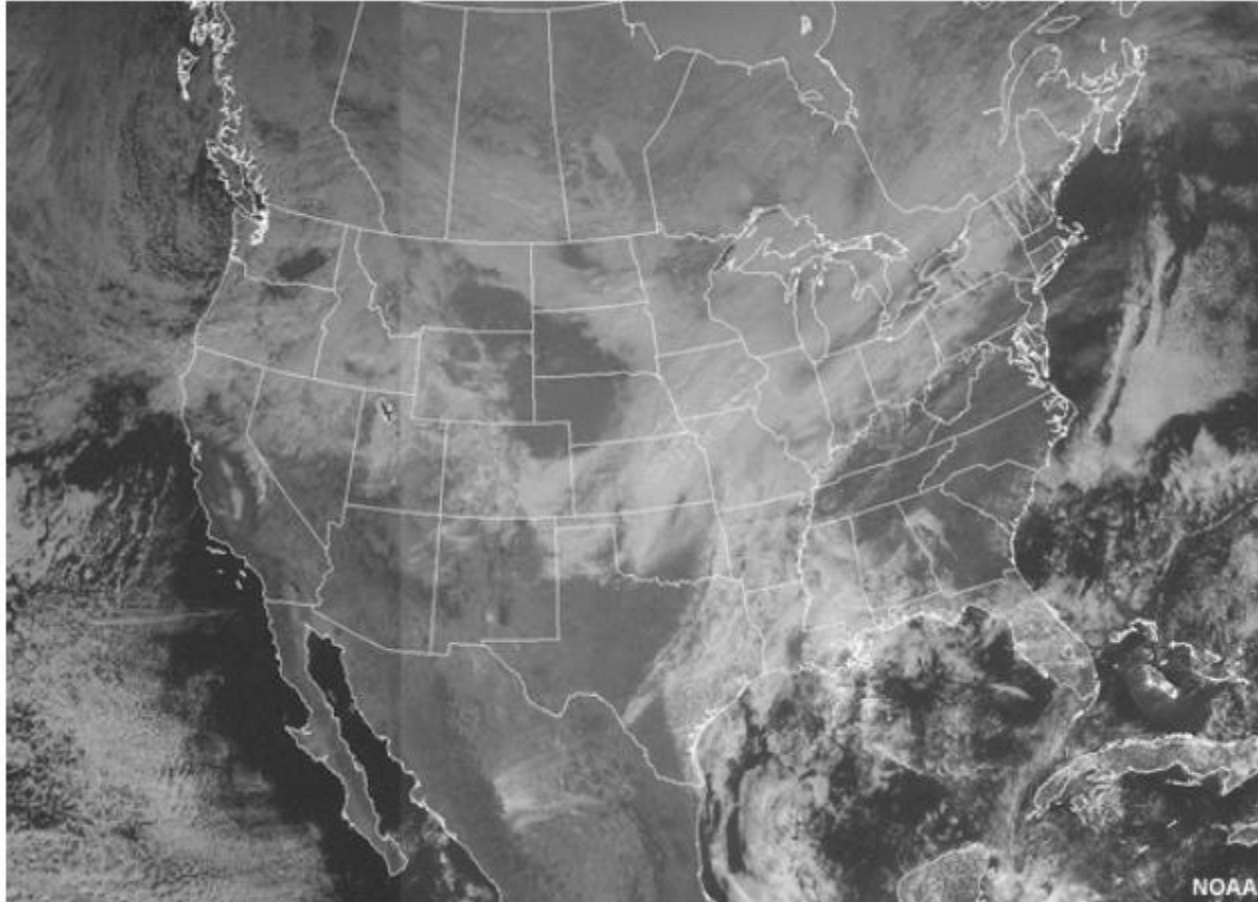
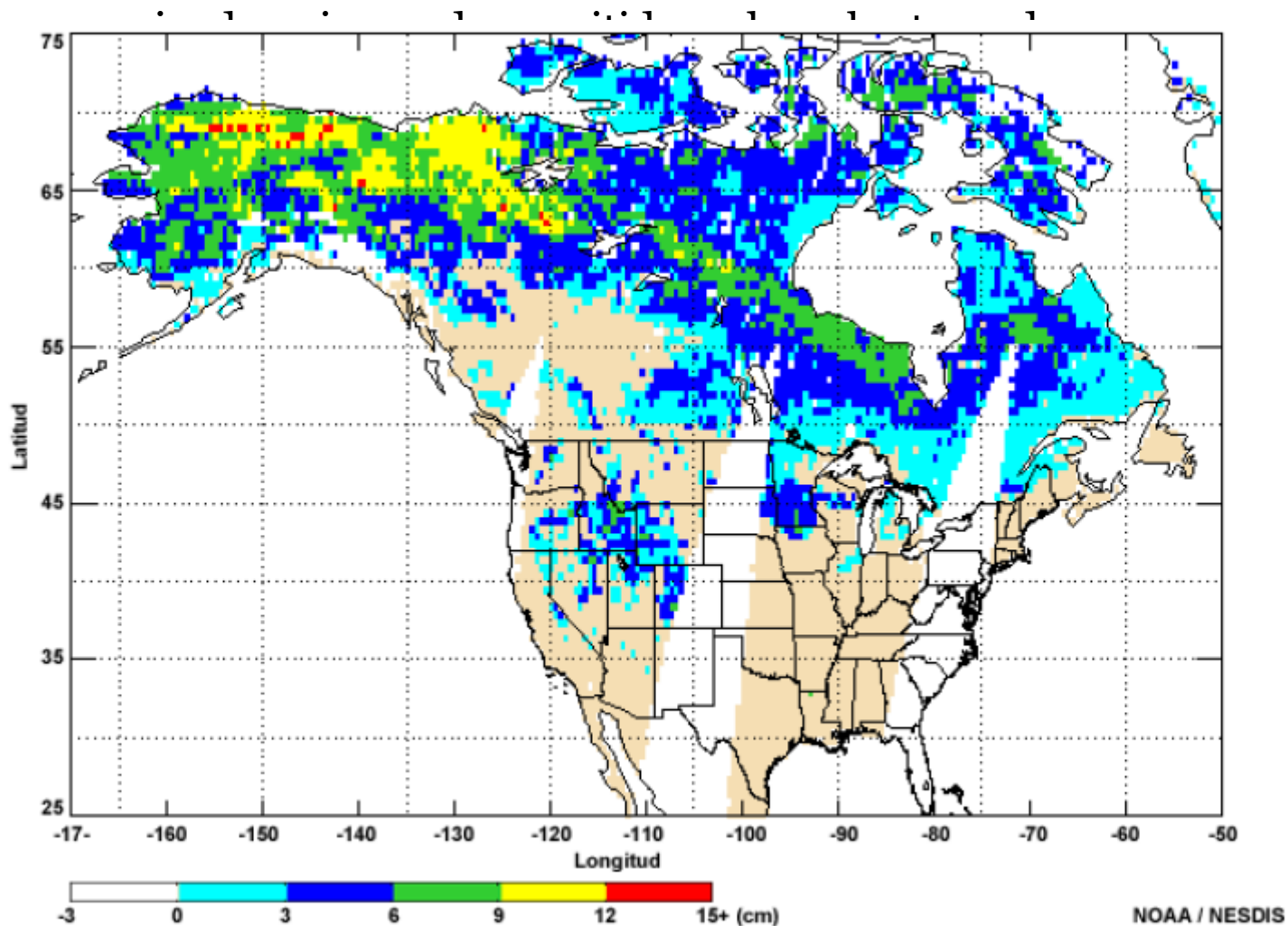


Fig. 4– Imagem composta do canal visível do GOES Este e Oeste [20 Janeiro 2006]

Como a energia de microondas emitida pela cobertura de neve acumulada penetra a maioria das núvens, pode-se observar tanto durante o dia como durante a noite.

Como
penetra a
noite.



lada
ite a

Fig. 5 – Aqua AMSR-E, equivalente de água na neve [22 Janeiro 2006]

Em comparação com a radiação visível e IV, a energia de microondas emitida não vem só da superfície da cobertura de neve, mas das zonas mais profundas dentro da camada de neve que são mais sensíveis aos parâmetros como a profundidade da água, equivalente de água na neve, temperatura da cobertura da neve, condição seca e molhada, e as condições do solo por baixo da cobertura de neve acumulada.

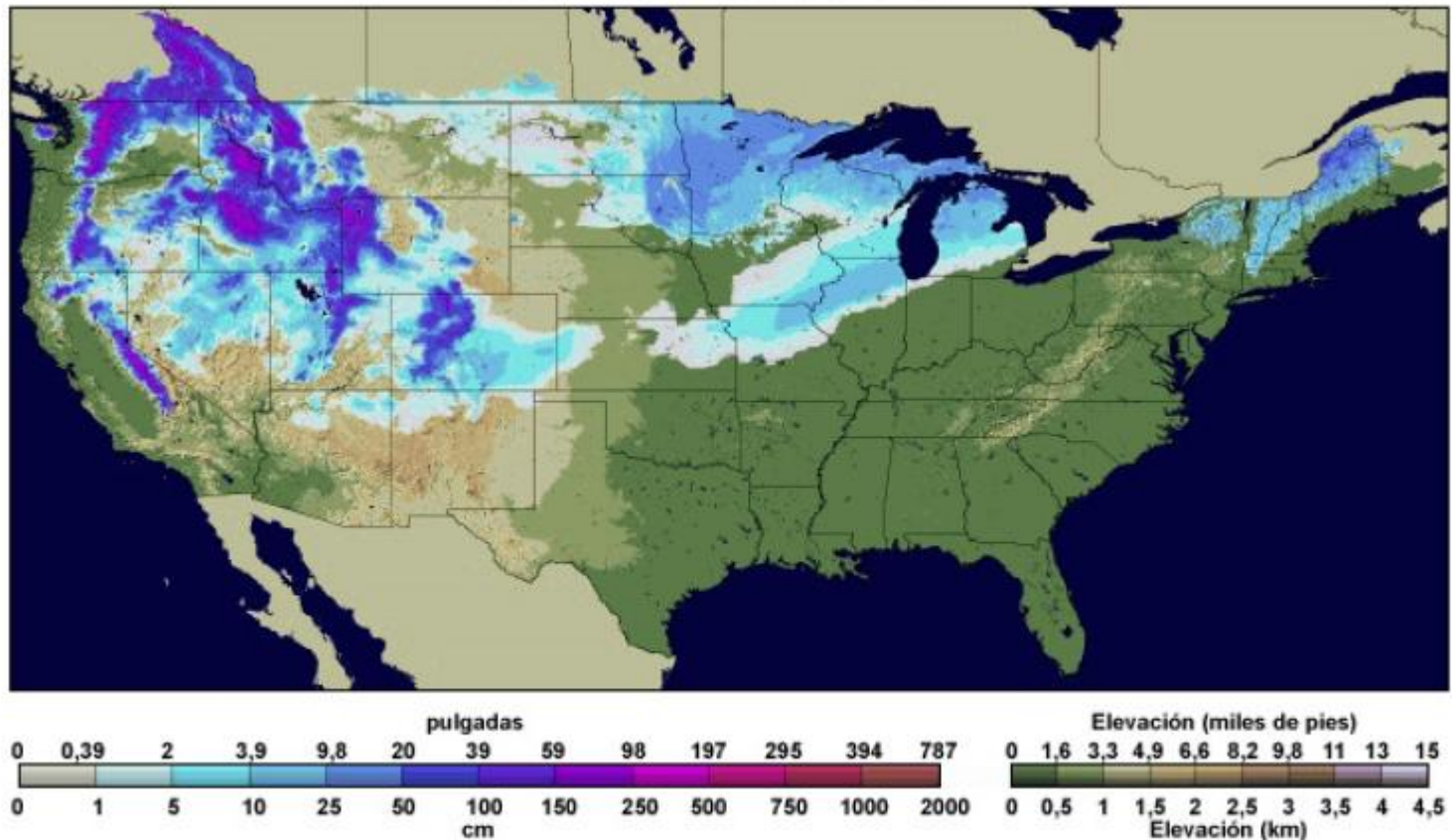


Fig. 6 – Profundidade de neve [21 janeiro 2006]

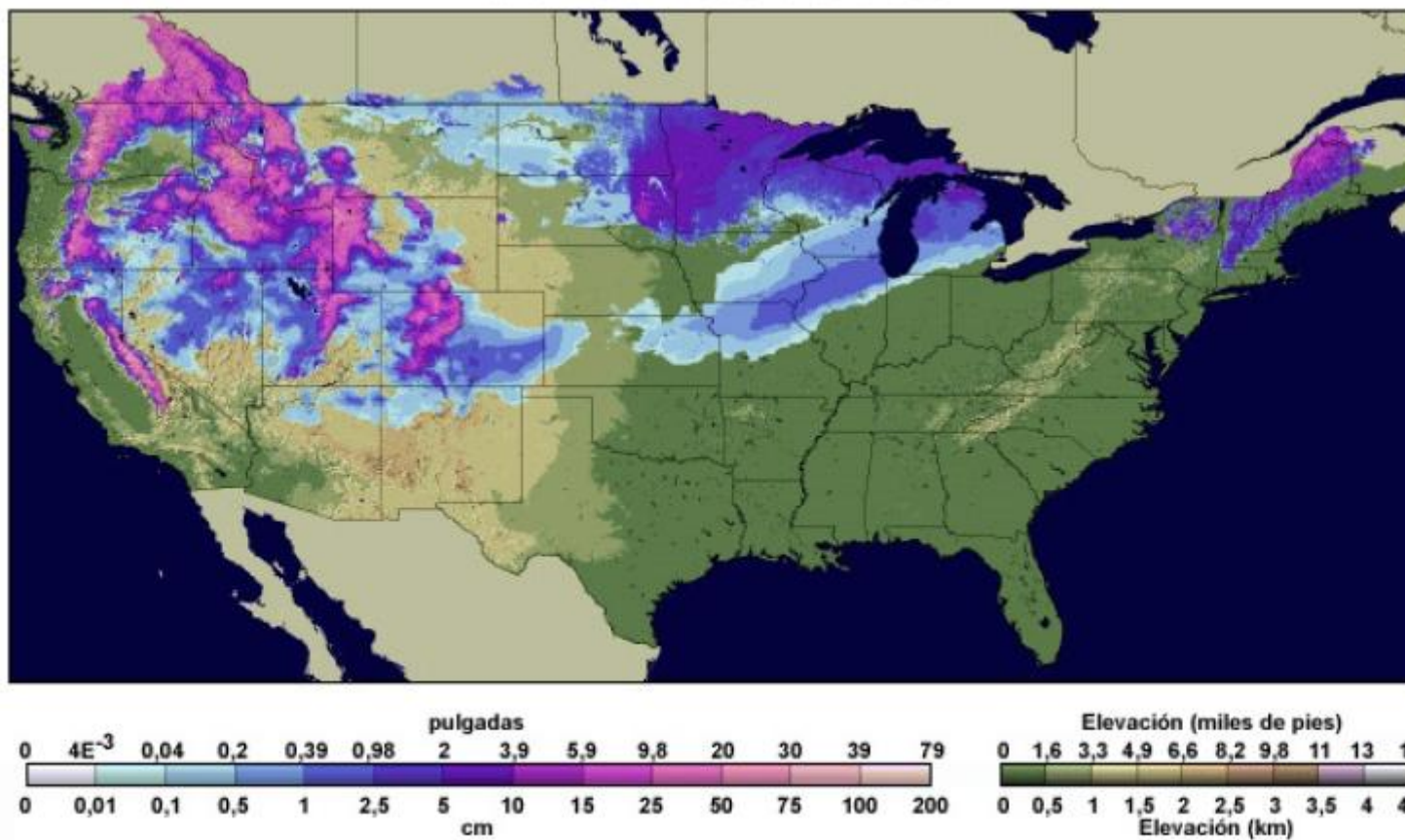


Fig. 7 – Equivalente de água na neve [21 janeiro 2006]

NOAA / NWS / NOHRSC

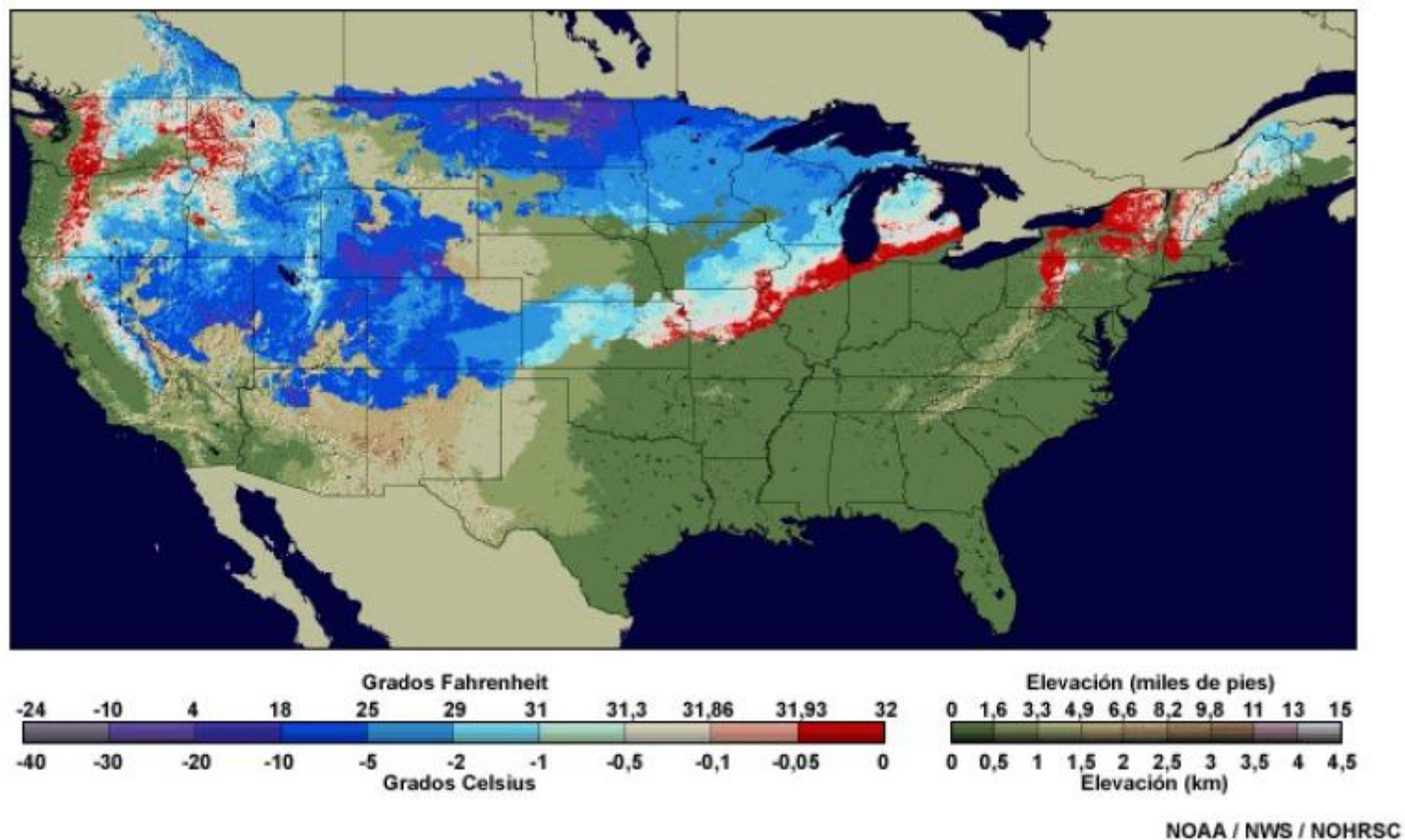


Fig. 8 – Temperatura da cobertura de neve [21 janeiro 2006]

Aplicações e Usuários

É essencial ter algumas informações sobre as propriedades da camada ou manto de neve para vários tipos de trabalho científico e de observação. Além de melhorias potenciais em previsão numérica de tempo [PNT] e observações climáticas, dados de neve de satélite que podem ser usados como previsões meteorológicas – temperatura – a curto prazo, formação de nuvens baixas e condições perigosas tais como tempestades e degelo rápido que podem causar inundações.

Os parâmetros de neve com base em microondas são importantes para prever o potencial para inundações com muitas semanas de antecedência ao degelo em bacias e áreas de escoamento. Podemos também avaliar os riscos de seca e potenciais incêndios florestais nas áreas despovoadas com base numa perspectiva ampla sobre a quantidade de água disponível. Esta mesma informação é importante para a agricultura e gestão dos recursos hídricos, especialmente em regiões semi-áridas.

A extensão da cobertura de neve e as propriedades de neve são factores importantes para o sistema climático global. A cobertura global fornecida pelo satélite de órbita polar é amplamente utilizado para pesquisas climáticas para compreender melhor o comportamento do clima, os mecanismos de retro-alimentação e os possíveis resultados de mudança climática. Actualmente, o sensoriamento remoto com instrumentos a bordo de satélites de microondas órbita polar é a única maneira que nos permite obter medidas globais de parâmetros essenciais de neve para análise e modelagem do clima variável da Terra.

Escala temp.	Aplicaciones	Campos
Días	<p>Predicciones diarias del tiempo, hidrología, transporte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • pronósticos de: <ul style="list-style-type: none"> • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<p>Pronóstico, observación y administración:</p> <ul style="list-style-type: none"> • tendencias en las condiciones de la capa de nieve • estimación de deshielo primaveral y recursos hídricos • administración de cuencas hidrológicas • agua de superficie para vegetación, cultivos y personas • peligros potenciales, como inundaciones, sequías e incendios • escorrentía a gran escala • generación de energía hidroeléctrica • recreo 	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<p>Observación de la cobertura de nieve mundial para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • tendencias climáticas globales y regionales • observación y predicción del clima a largo plazo • distribución global de la energía • administración de recursos hídricos 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado, predicción e investigación climática • Modelado de la circulación general • Transporte y comercio

Emissões de microondas: interacção com a superfície terrestre e o manto de neve

A quantidade de radiação de microondas emitida pela superfície terrestre vê-se fortemente afectada pela presença e das propriedades do manto da neve. A capacidade de penetração dos instrumentos de microondas na cobertura de nuvens e operar durante o dia e de noite para detectar variações nas condições da cobertura de neve em qualquer instante de tempo.

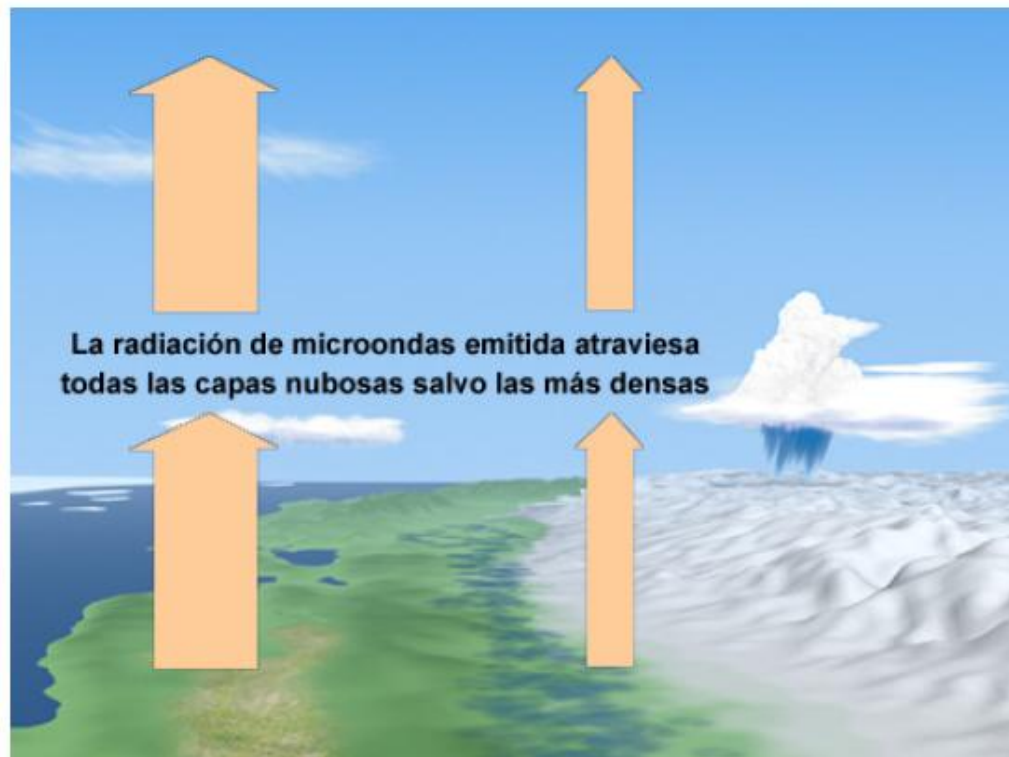


Fig. 9 – Esquema de penetração das radiações microondas

Atenuação por dispersão

O manto de neve e as suas propriedades afectam em grande medida a quantidade de radiação de microondas que alcança o sensor do satélite. A estrutura do gelo é muito diferente do que a da água líquida e da maioria dos solos e das rochas. Por esta razão, a radiação emitida pela superfície sob a neve é alterada consideravelmente ao longo do tempo. A relação entre a emissão de microondas e a dinâmica da neve permite-nos estudar as propriedades abaixo da superfície.

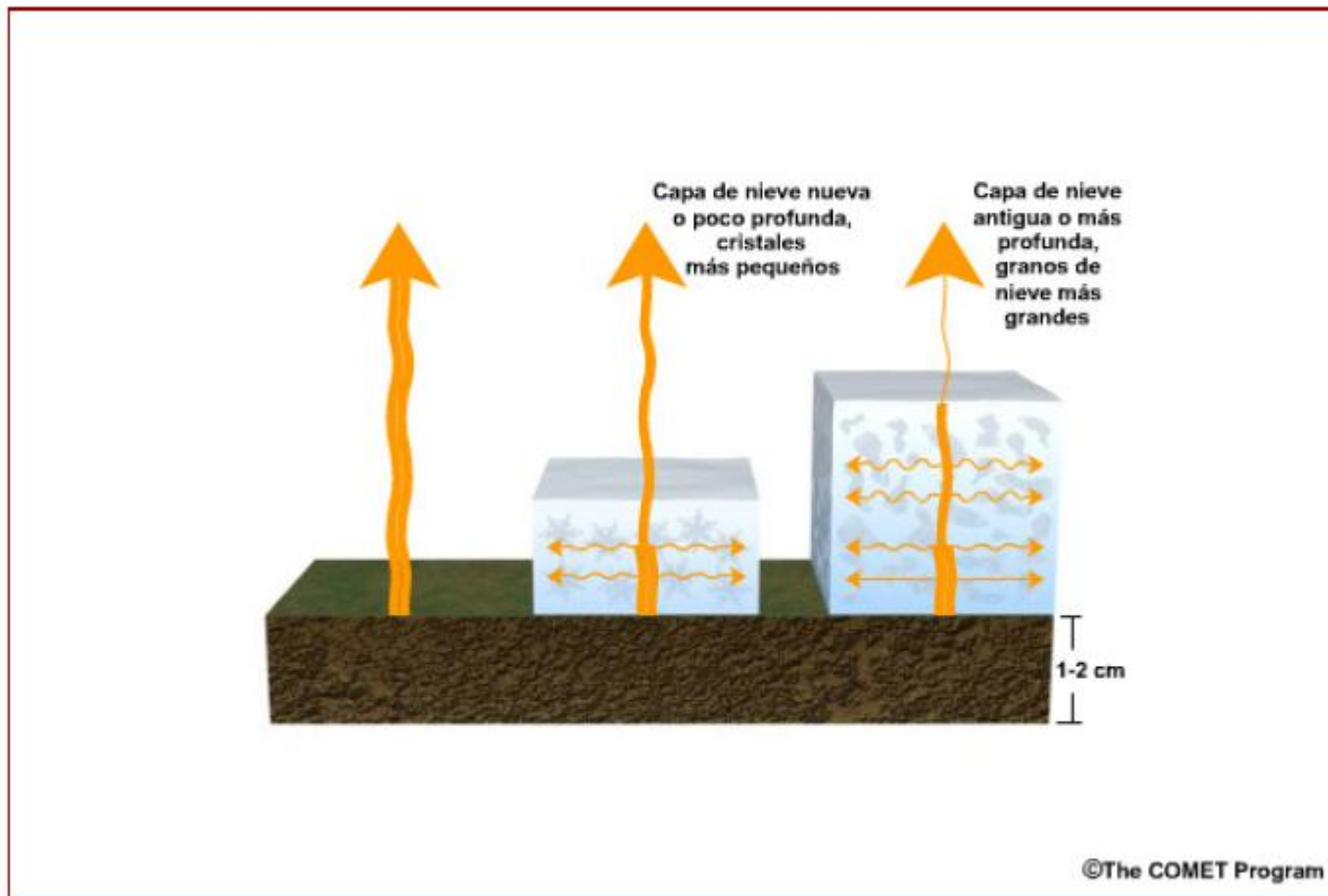


Fig. 10 – *Envelhecimento da neve*

A Figura 10 mostra os grãos de never que se formam à medida que a neve envelhece, ou são suficientemente grandes para efectivamente dispersar a radiação de microondas. Os grãos de neve são cristais de gelo que foram submetidos a uma transformação [metamorfose] de flocos de neve a partículas maiores através de um processo termodinâmico que começa quase imediatamente após a os flocos de neve se acumularem no chão. À medida que a cobertura da neve envelhece, os grãos de neve predominam sobre os cristais de neve e crescem em tamanho, tornando-se dispersores ainda mais eficazes. Devido a este efeito de dispersão, o solo sob o manto de neve parece que emite muito menos energia de microondas [e parece mais frio quando se consideram as temperaturas de brilho] que o solo nú à mesma temperatura.

Atenuação por dispersão – profundidade e densidade da neve acumulada

A Figura 11 mostra dois tipos acontecimentos:

- à esquerda: quanto mais neve está sobre a superfície, maior é a dispersão e a atenuação;
- à direita: com o aumento da densidade da neve acumulada, também aumenta a quantidade de energia dispersada e atenuada.

Consequentemente, as mudanças na quantidade de neve medidas à superfície por teledetecção podem ser interpretadas como mudanças na profundidade da neve [à esquerda] ou a densidade da neve [à direita].

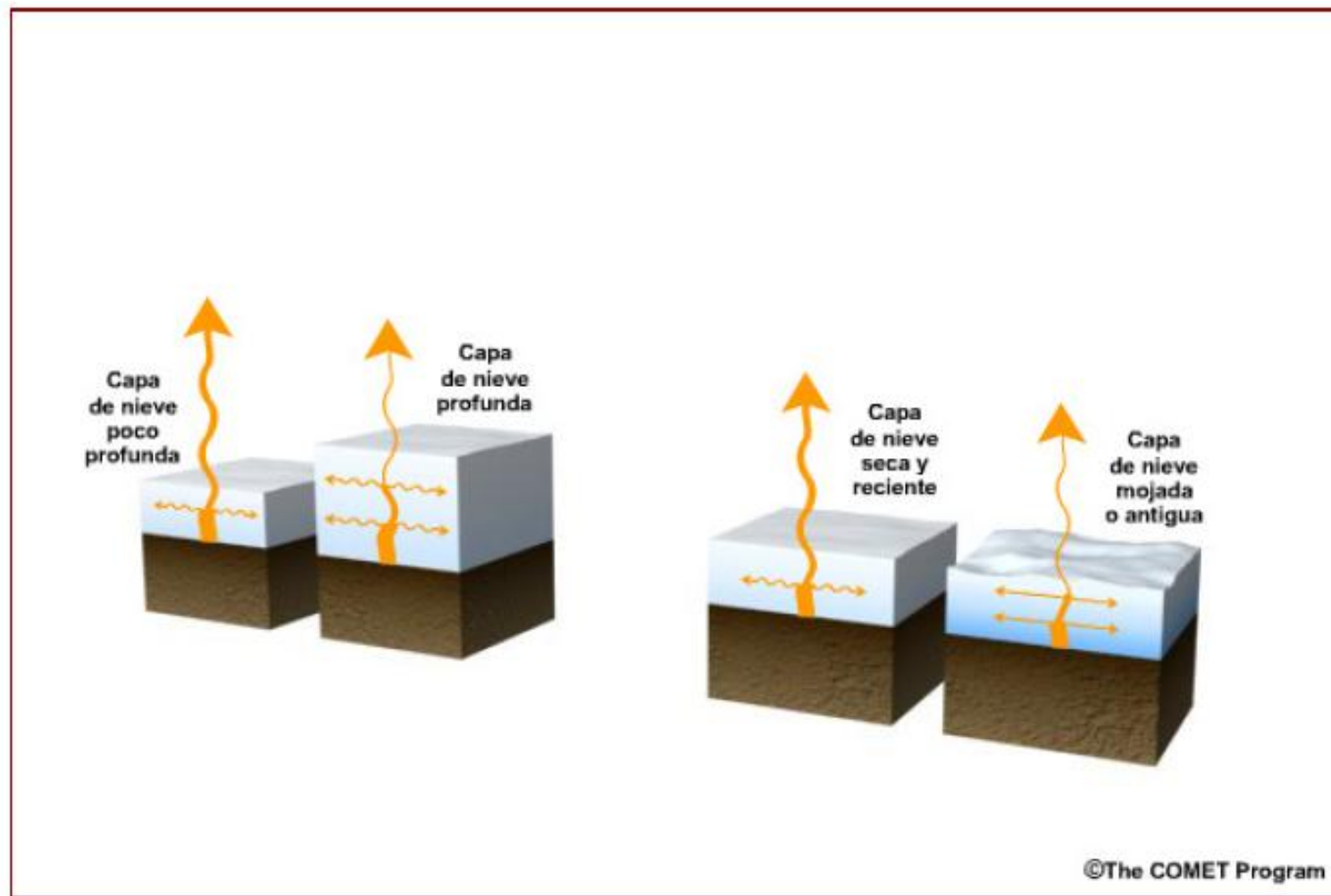
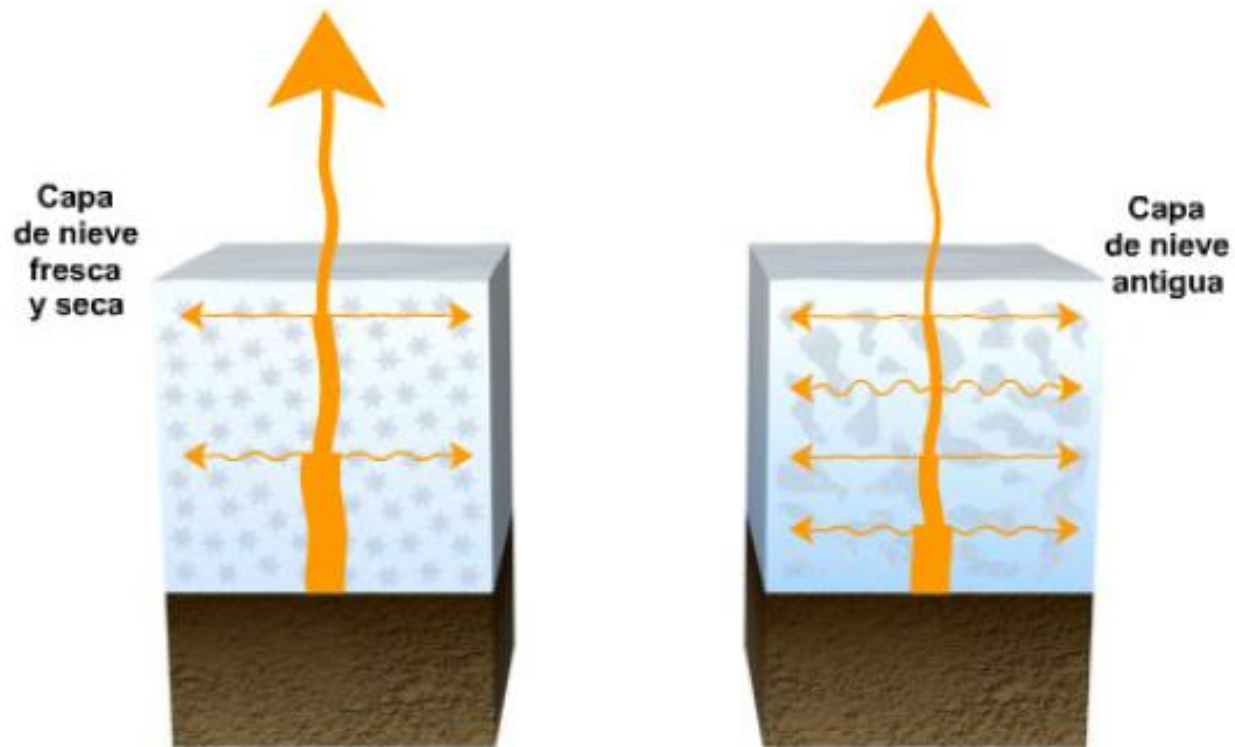


Fig. 11 – Profundidade e densidade da neve acumulada

Atenuação por dispersão – tamanho dos grãos

A quantidade de radiação de microondas dispersada também é afectada pelo tamanho dos grãos das partículas de neve em relação ao comprimento de onda da radiação de microondas. As partículas dispersam mais radiação conforme o seu tamanho se aproxima do comprimento de onda de radiação. Para se conceber este efeito, podemos observar duas camadas de neve em condições diferentes.

- Uma camada de neve fresca e seca [à esquerda na Figura 12], os cristais tendem a ser pequenos em comparação com o comprimento de onda da radiação de microondas e a quantidade de energia espalhada é relativamente moderada;
- No entanto, à medida que as partículas crescem e se aproximam do comprimento de onda da radiação, como ocorre com os grãos de neve numa camada de neve mais velha [à direita na Figura 12], que dispersa uma quantidade maior de radiação de microondas e a camada de neve parece mais fria – ou seja, é visto como uma temperatura com uma baixa luminosidade.



©The COMET Program

Fig. 12 – Tamanho dos grãos

Dependência do comprimento de onda

A quantidade de dispersão produzida pelo amnto de neve acumulada também depende em grande parte do comprimento de onda da radiação. O comprimento de onda da radiação de alta frequência [10 a 150 GHz é a faixa de microondas] aproxima-se do tamanho médio da maioria das partículas de neve que produz um aumento da dispersão da aparência de radiação emitida e um esfriamento aparente. Por outro lado, em frequências mais baixas [comprimento de onda mais longos], cujo comprimento de onda excede o tamanho médio de partículas de neve, estas dispersam menos radiação. Devido à menos quantidade de dispersão de comprimentos de onda mais longos, a radiação de microondas podem originar locais mais profundos na neve e, gerlamente, fornecer mais informações sobre as propriedades como o equivalente de água de neve.

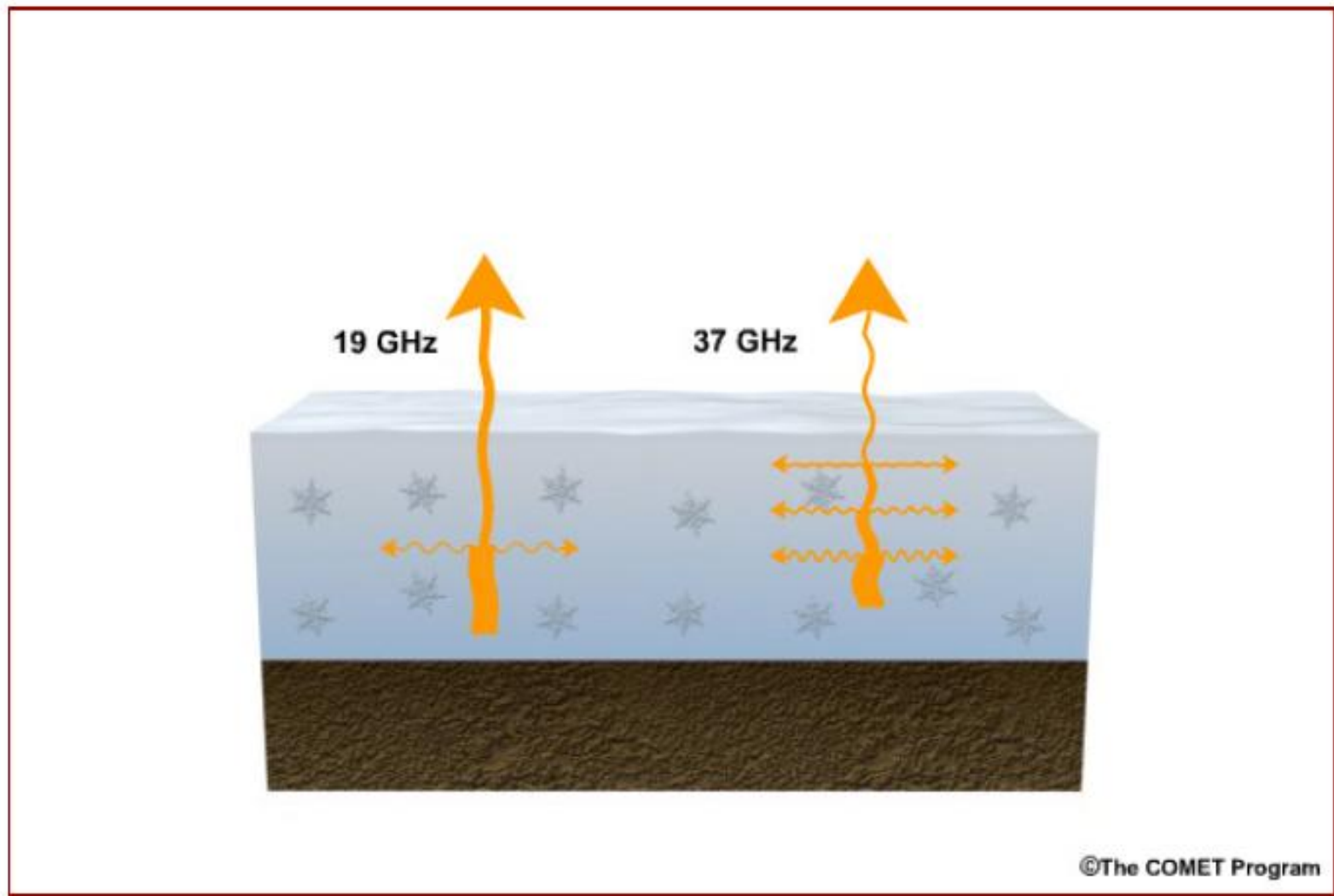


Fig. 13 – Dependência do comprimento de onda

Selección de canales: 37 GHz

Os gráficos 1 e 2 permite-nos ver a grande extensión que a energia das microondas emitidas por uma cobertura de neve depende do comprimento de onda, e esta dependência é o principal factor que nos permite usar técnicas de diferenciación de canais para recuperar informações sobre a condición da neve. O canal 37 GHz é usado amplamente em teledetección da neve ,devido à queda acentuada na temperatura de brilho da cobertura da neve em relação ao solo descoberto.

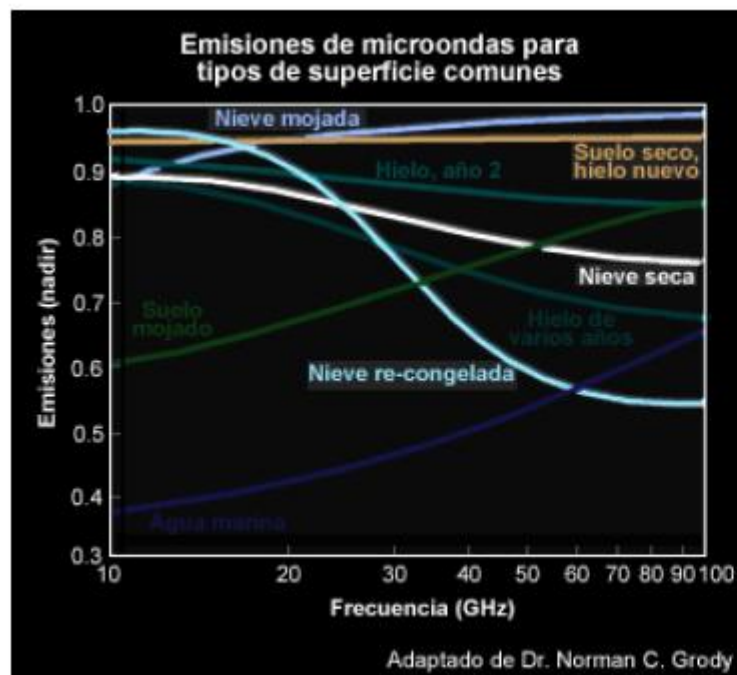


Gráfico 1

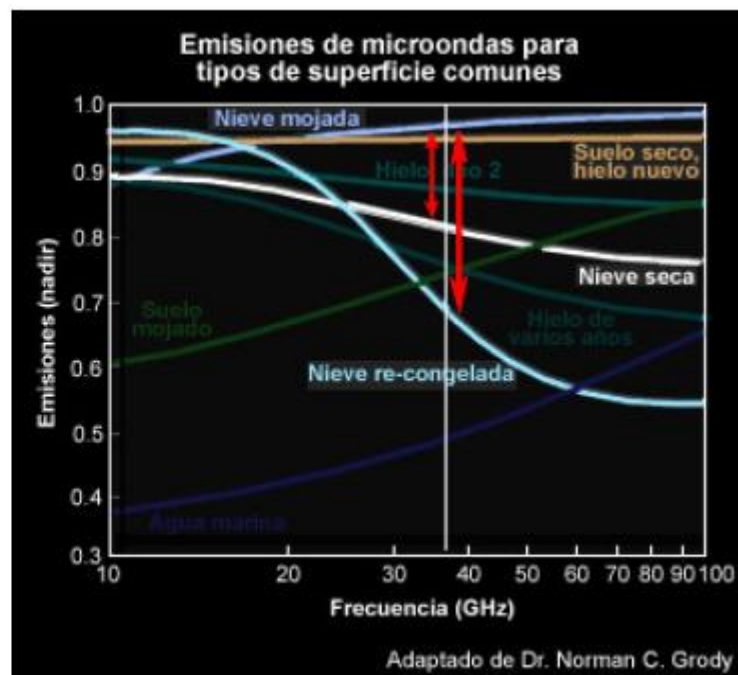
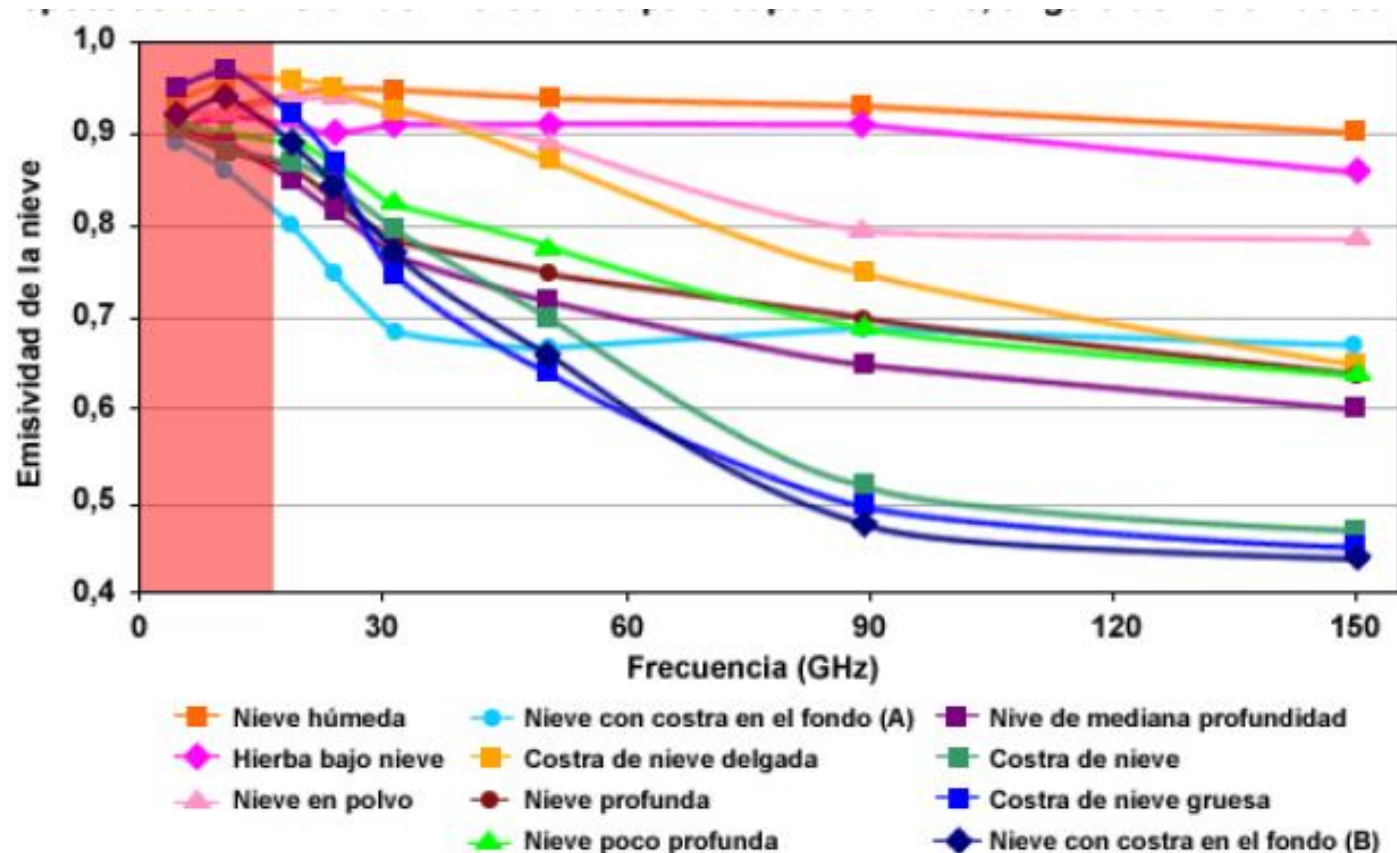


Gráfico 2

Como mostra o gráfico 3, os comprimentos de onda mais longos [frequências abaixo dos 19 GHz] não respondem tão bem às variações equivalente de água na neve.



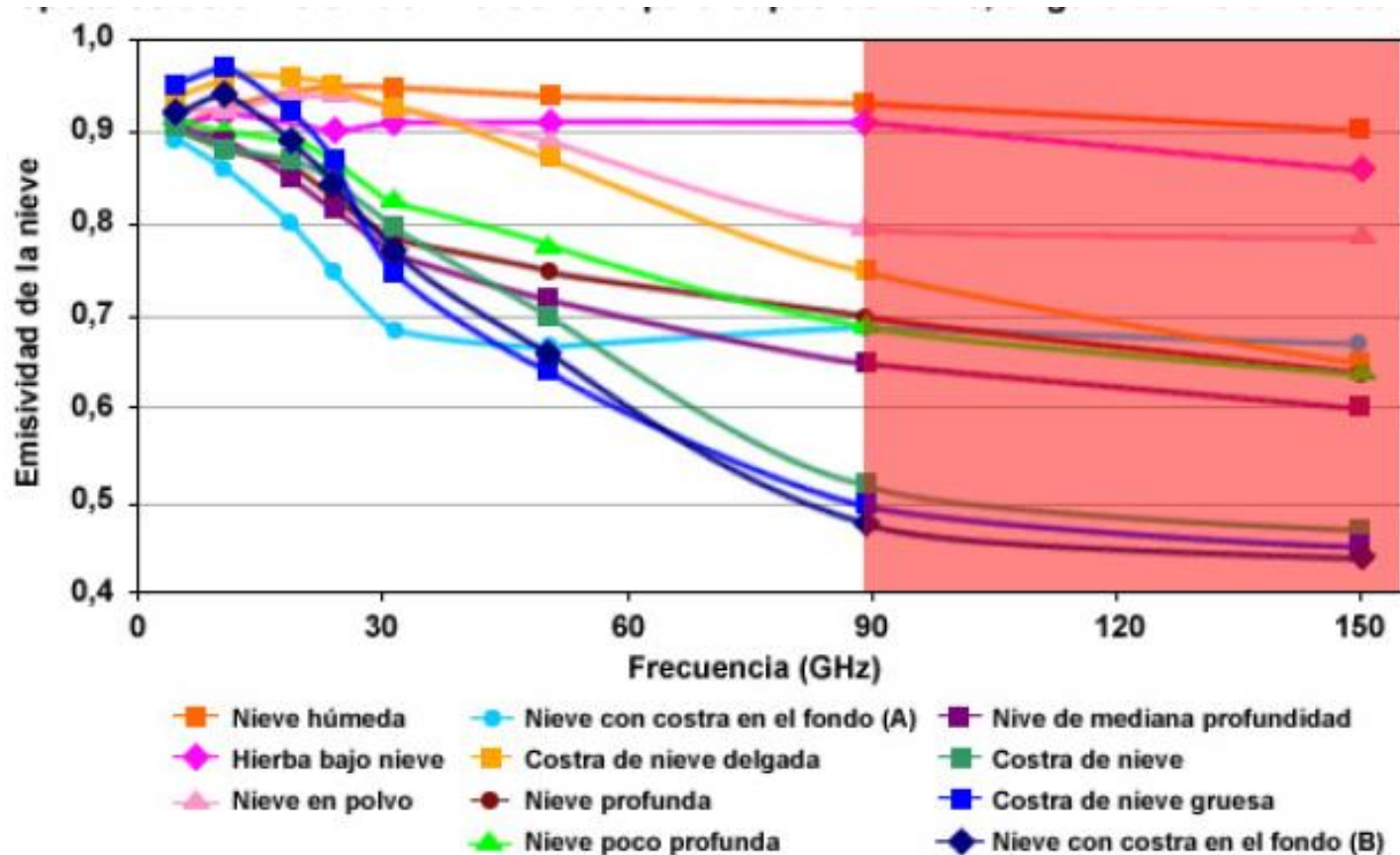
Nieve con costra en el fondo (A): nieve cuya metamórfosis a creado una costra gruesa y espesa (~40 cm) en el fondo de la nieve fresca de invierno.

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

Gráfico 3 – Espectros de emissão de microondas para coberturas de neve, ângulo de visão de 50°

Por outro lado, os comprimentos de onda mais curtos não alcançam a mesma profundidade de penetração na camada de neve acumulada, podendo-se perder parte da informação. Por isso devem-se evitar as bandas para além de 89 GHz.



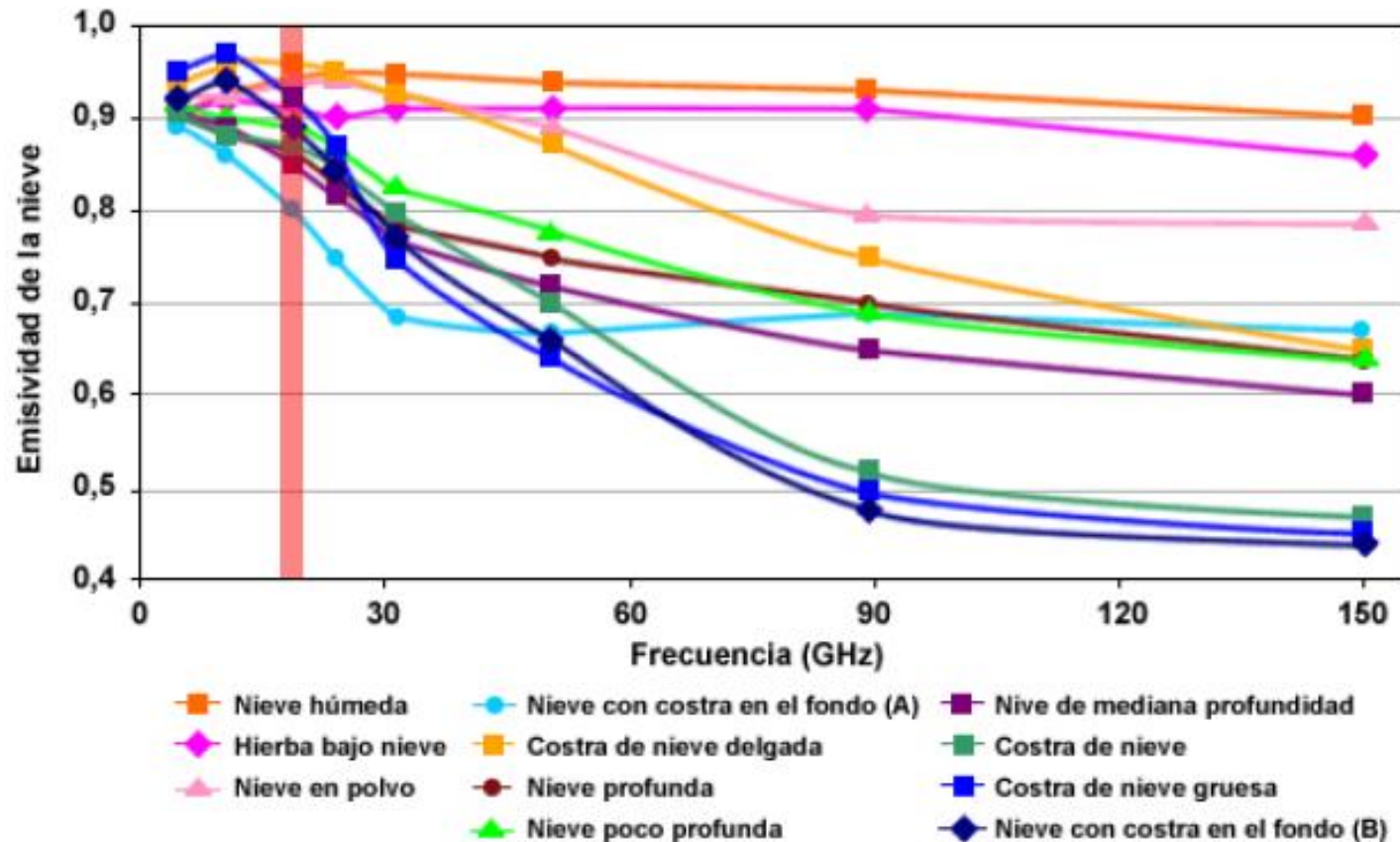
neve com costra en el fondo (A): neve cuja metamorfosis a creado una costra gruesa y espesa (~40 cm) en el fondo de la nieve fresca de invierno.

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

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

Gráfico 4 – Espectros de emissão de microondas para coberturas de neve, ângulo de visão de 50°

Também se evita o uso do canal de 22 GHz devido à forte atenuação pelo vapor de água. A radiação de superfície emitida nesta frequência é muito reduzida na presença de vapor de água atmosférico.



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

re 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

Gráfico 5 – Espectros de emissão de microondas para coberturas de neve, ângulo de visão de 50°

Selección de canales: canal de aproximación e diferenciación multispectrales

É frecuente comparar os canais de 37 e 19 GHz para distinguir as características da cobertura de neve.

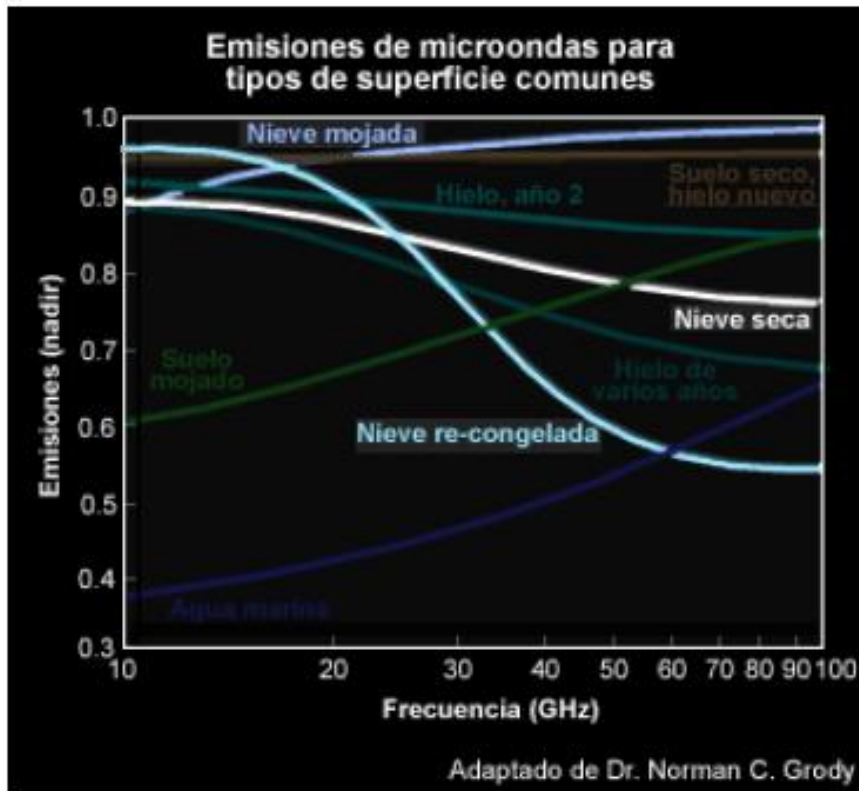


Gráfico 6

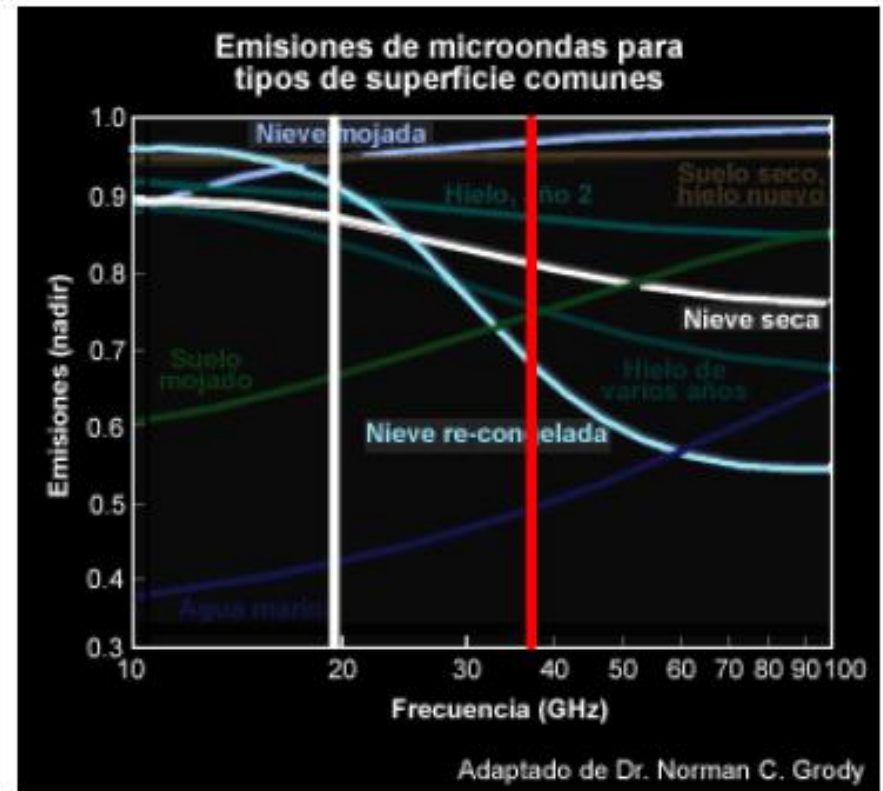
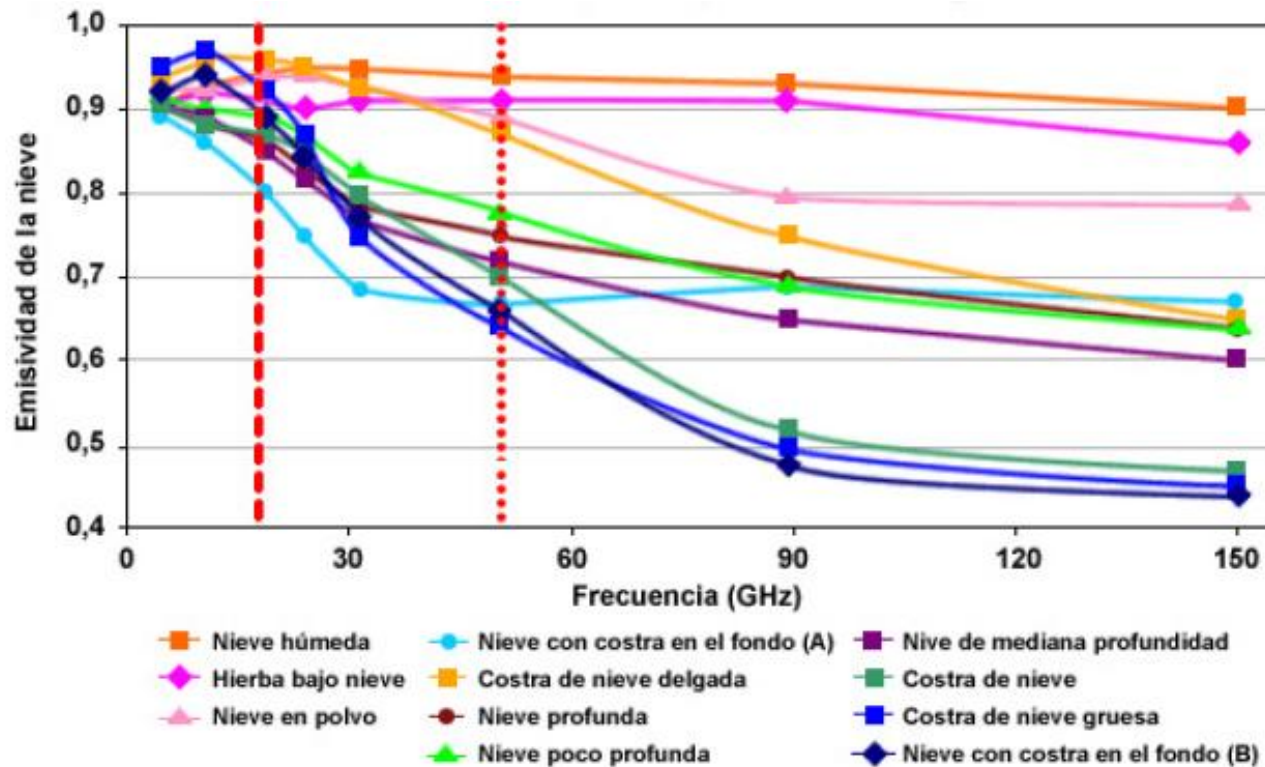


Gráfico 7

Os grãos dos cristais de neve dispersam diferentes quantidades de radiação segundo o comprimento de onda e o tamanho das partículas. Podemos calcular a diferença entre estes canais para determinar certos aspectos da cobertura de neve acumulada que seriam impossível de se distinguir utilizando unicamente as observações de 37 GHz.



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

neve 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

Gráfico 8 – Espectros de emissão de microondas para coberturas de neve, ângulo de visão de 50°

Obstáculos e limitações: vegetação

A teledeteccção da neve não é uma ciência exacta. Muitos factores ambientais podem complicar a nossa capacidade de estimar o equivalente de água da neve e mesmo a neve em si.

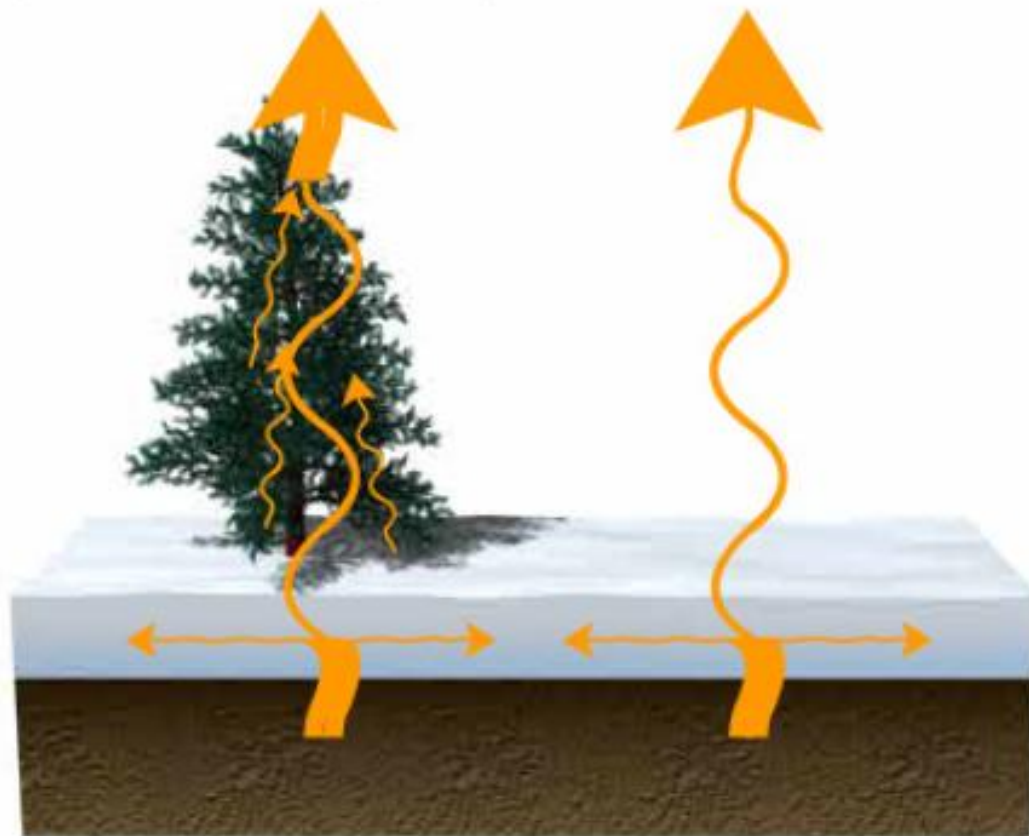
A vegetação emite a sua própria radiação de microondas. Em áreas onde a vegetação cobre pelo menos parte duma superfície de neve, a temperatura de brilho detectada pelo satélite aumenta. Portanto, as emissões das plantas tendem a mascarar o sinal da neve subjacente. Quanto maior a densidade da vegetação, menor é a capacidade do satélite para a observação directa da neve. Se aplicarmos uma abordagem multiespectral à análise podemos identificar os efeitos da vegetação e minimizar a extensão que contamina os dados.

A vegetação também afecta a polarização da energia que alcança o sensor do satélite e, em geral, a superfície coberta por vegetação diminui a quantidade de diferença na polarização entre os canais. Normalmente, a diferença de polarização é medida por observações feitas com os canais de polarização vertical e horizontal, o que pode ser útil na identificação das áreas com vegetação dentro de uma região coberta com neve.

$T_{(B, \text{ capa de nieve + suelo + vegetación})}$

$>$

$T_{(B, \text{ capa de nieve + suelo})}$

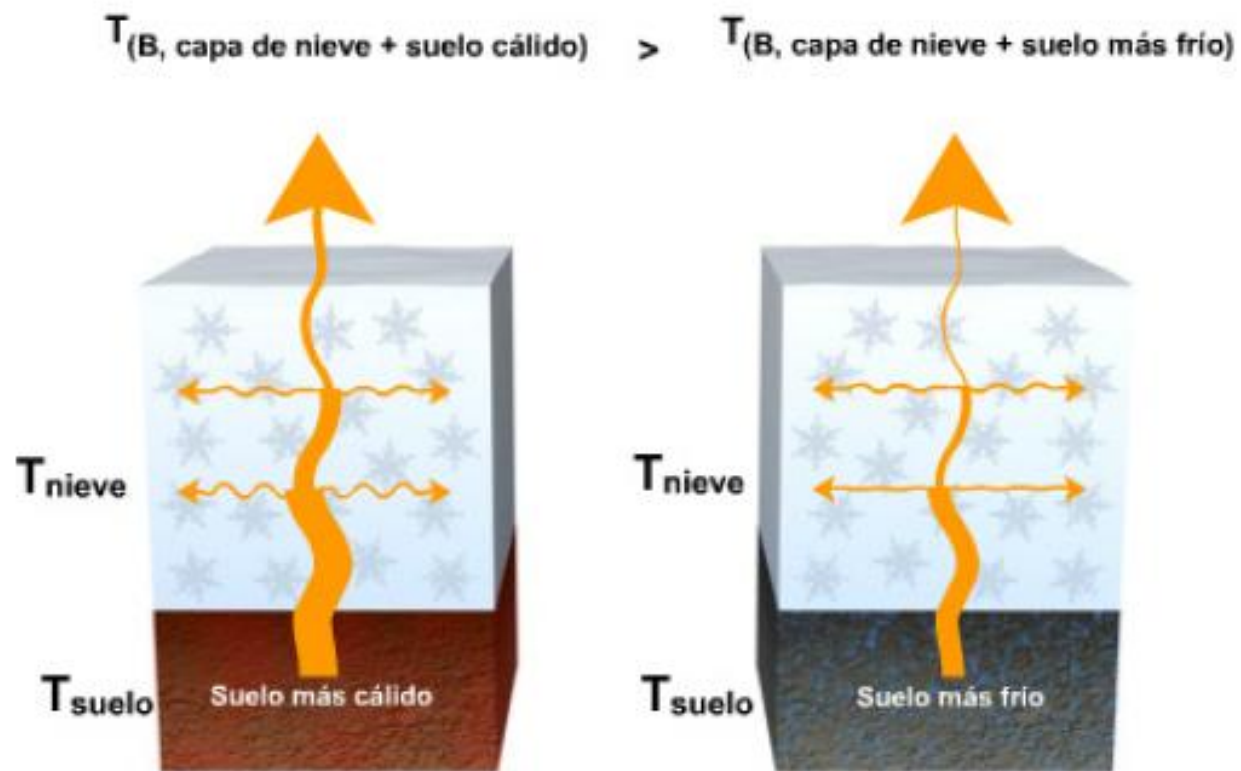


©The COMET Program

Fig. 14 – Obstáculos e limitações: vegetação

Obstáculos e limitações: propriedades do solo

Devido á quantidade de radiação de microondas que o satélite alcança depende da quantidade de dispersão e atenuação produzida pela neve, as emissões de microondas do solo debaixo da camada de neve pode afectar significativamente a temperatura de brilho final que poderia ser interpretado como mudanças na neve. As propriedades do solo subjacente podem ser estimadas e levadas em conta ao olhar para os comprimentos de onda mais longos [frequências mais baixas] que detectam a energia dentro do solo e não são afectadas na mesma medida pela dispersão de neve como os comprimentos de onda mais curtos [frequências mais altas].

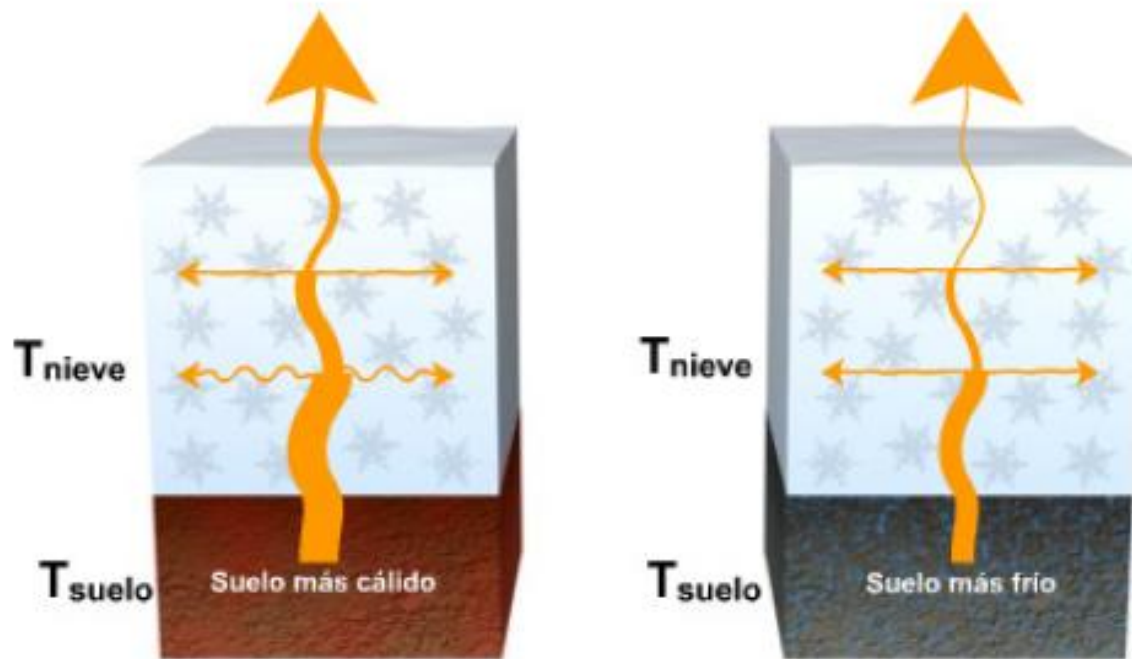


©The COMET Program

Fig. 15 – Obstáculos e limitações: propriedades do solo I

Na região de microondas do espectro electromagnético, a emissão é proporcional à emissividade multiplicada pela temperatura do corpo emissor. Portanto, é necessário algum conhecimento da temperatura da superfície para se interpretar correctamente o sinal do satélite, em termos das propriedades da física, tais como a água equivalente na neve. A temperatura da superfície pode ser estimada a partir de observações no local ou outros métodos de extracção de dados de satélite.

$$T_{(B, \text{satélite})} \approx \varepsilon T_{\text{superf.}} \text{ (donde } \varepsilon = \text{emisividad del objeto emisor)}$$



©The COMET Program

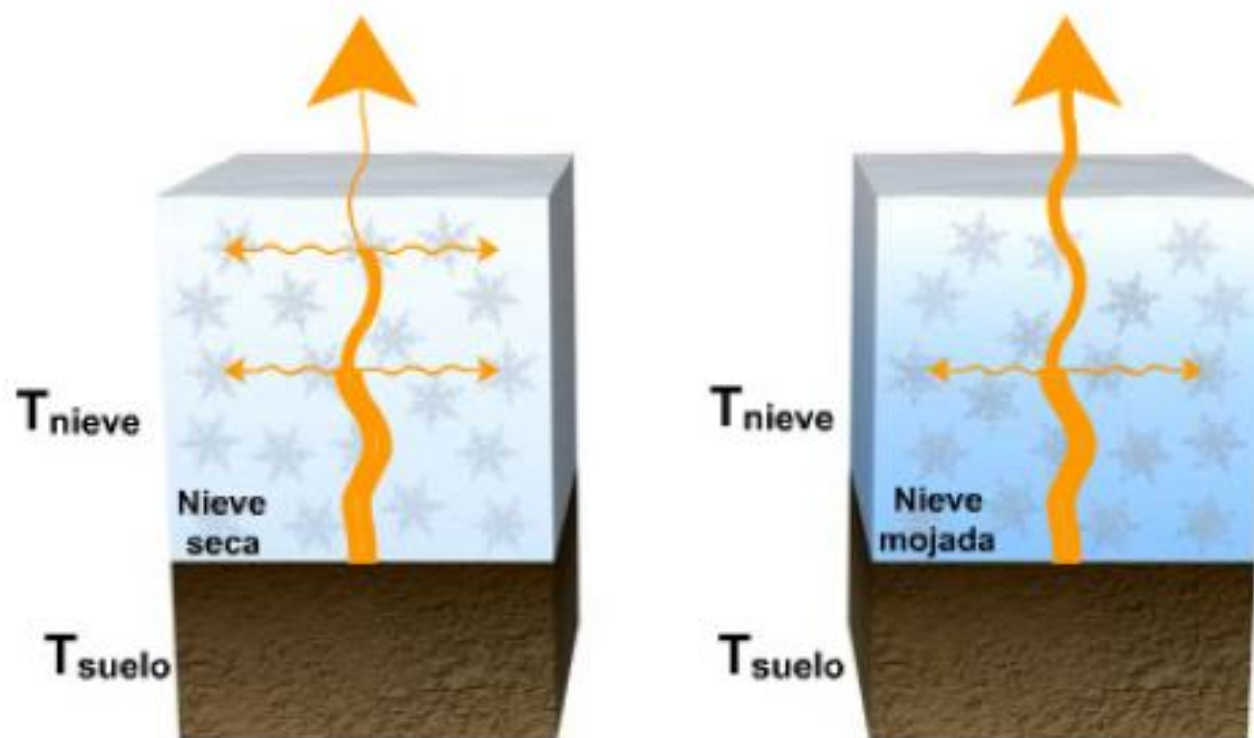
Fig. 16 – Obstáculos e limitações: propriedades do solo II

Obstáculos e limitações: propriedades da neve seca/húmida

A emissividade da neve húmida que está a derreter é muito maior do que a neve seca. A introdução de água líquida na superfície dos grãos de neve dentro da cobertura da neve aumenta consideravelmente a absorção e emissão de energia de microondas. A fusão também aumenta com o tamanho das partículas da cobertura de neve em relação aos comprimentos de onda de microondas usados pelos instrumentos passivos de sensoriamento remoto, para que a quantidade de energia espalhada seja menor.

$T_{(B, \text{satélite})} \approx \varepsilon T_{\text{superf.}}$ (donde ε = emisividad del objeto emisor)

$\varepsilon(\text{nieve seca}) \ll \varepsilon(\text{nieve mojada/en fusión})$



©The COMET Program

Fig. 17 – Obstáculos e limitações: propriedades da neve seca/húmida I

Se não temos em conta a combinação destes efeitos, o satélite subestima a profundidade da neve acumulada.

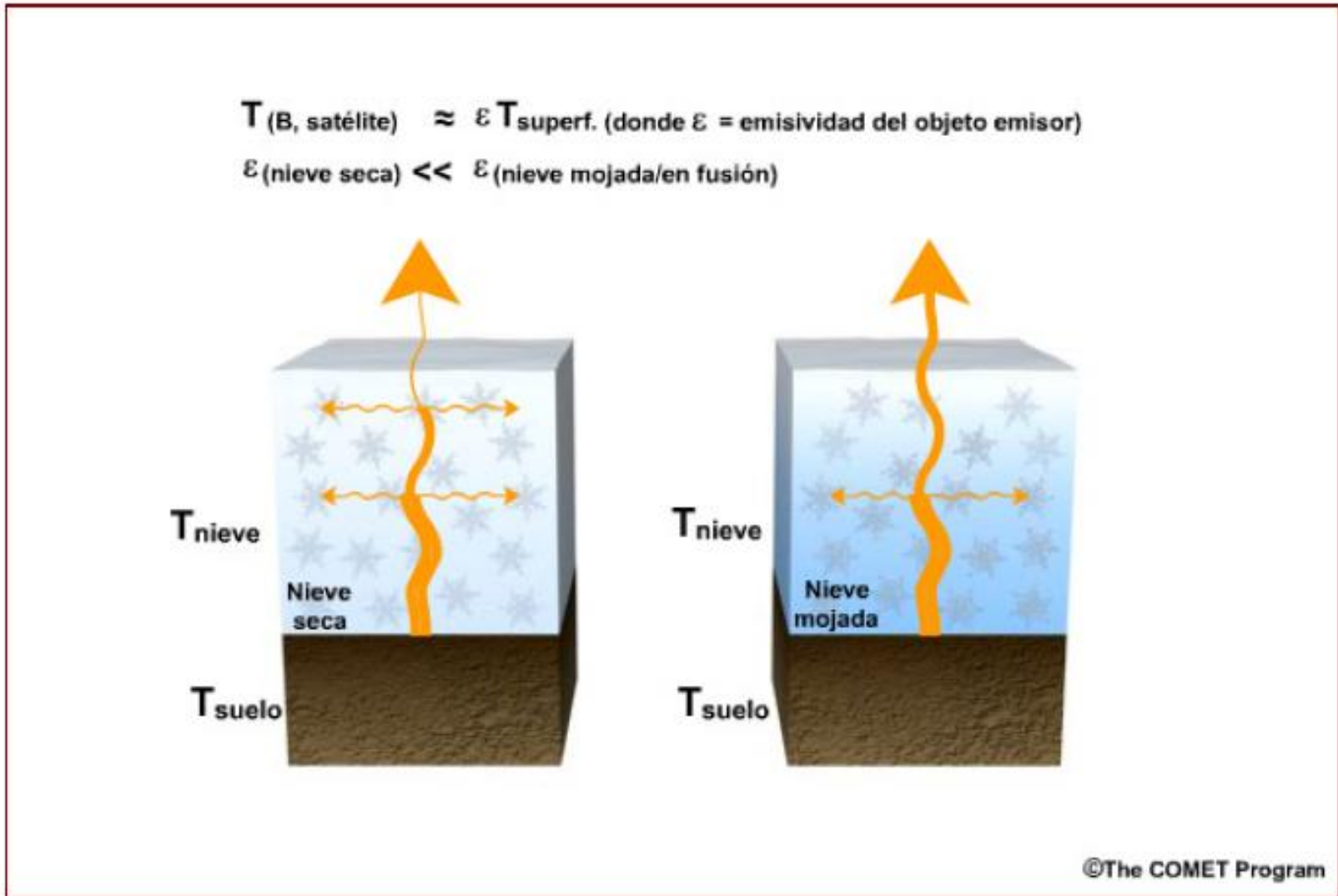


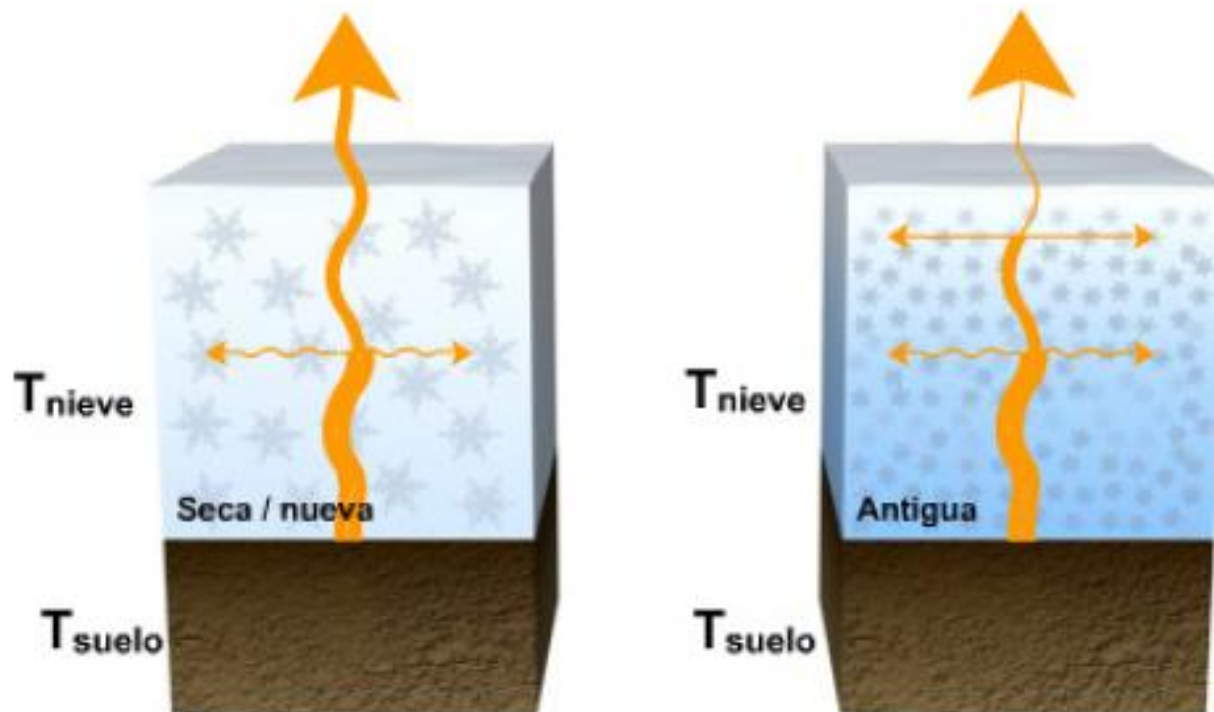
Fig. 18 – Obstáculos e limitações: propriedades da neve seca/húmida II

Obstáculos e limitações: propriedades da neve, estratificação

À medida que a cobertura da neve acumulada envelhece, tanto a densidade como o tamanho das partículas de gelo aumentam. Isto tende a aumentar a quantidade de dispersão pela cobertura da neve, embora que na realidade o equivalente de água da neve pode seguir mais ou menos o mesmo. Todos estes factores tendem a confundir e complicar as estimativas da cobertura de neve e água equivalente na neve.

$$T_{(B, \text{satélite})} \approx \varepsilon T_{\text{superf.}} \text{ (donde } \varepsilon = \text{emisividad del objeto emisor)}$$

$$\varepsilon_{(\text{nieve seca y nueva})} > \varepsilon_{(\text{nieve antigua})}$$



©The COMET Program

Fig. 19 – Obstáculos e limitações: propriedades da neve, estratificação

Instrumentos de microondas

SSM/I e SSMIS

Tanto o SSMI/I como o SSMIS têm contribuído de forma significativa a vários esforços de mapeamento mundial das coberturas de neve e de gelo. O exemplo da Figura 20 mostra uma imagem composta de 24 horas de análise dos dados de cobertura de neve e gelo do SSM/I de um único satélite polar DMSP obtidos em 22 de Março de 2006. o exemplo à direita também mostra o manto de neve, contudo, este produto inclui o equivalente de água de neve e um a média mensal de dados compostos de SSM/I para o mês de Março de 2005. pela sua capacidade de penetrar a cobertura de núvens, o sensor de microondas é uma ferramenta importante complementar de observação que permite melhorar as análises do manto de neve com base no visível e IV, especialmente em regiões de altas latitudes, onde uma camada de núvens persistente é comum no inverno.

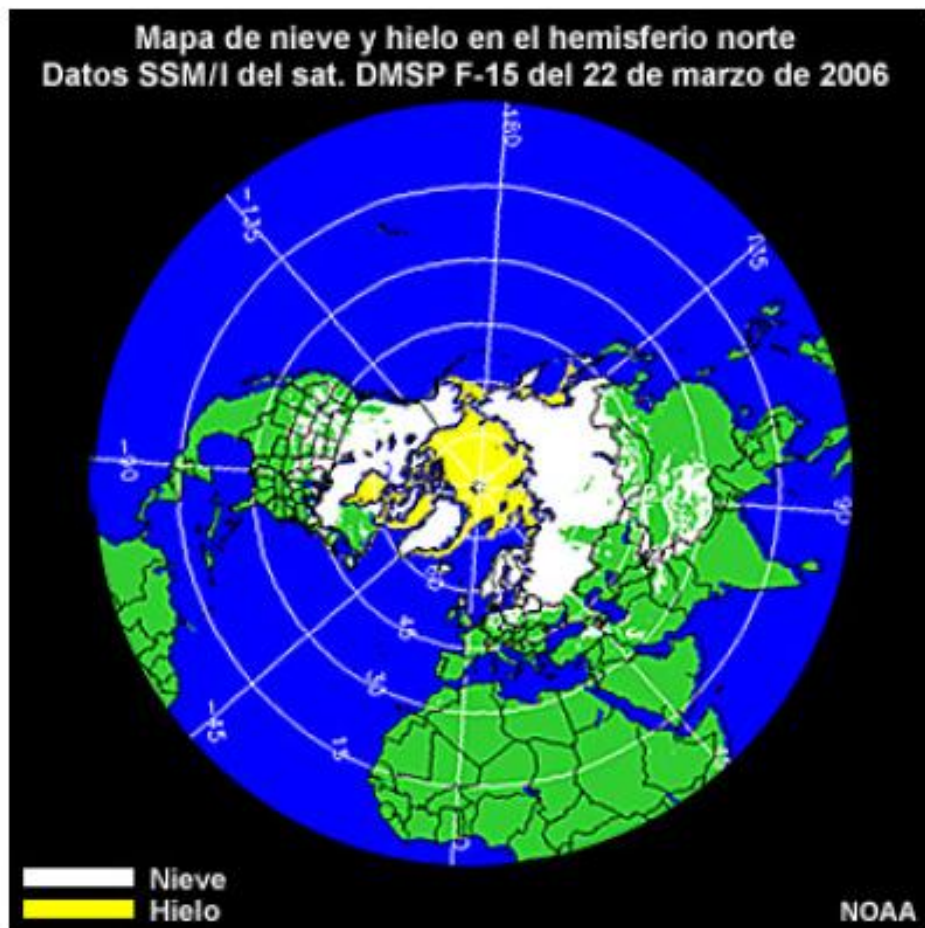


Fig. 20

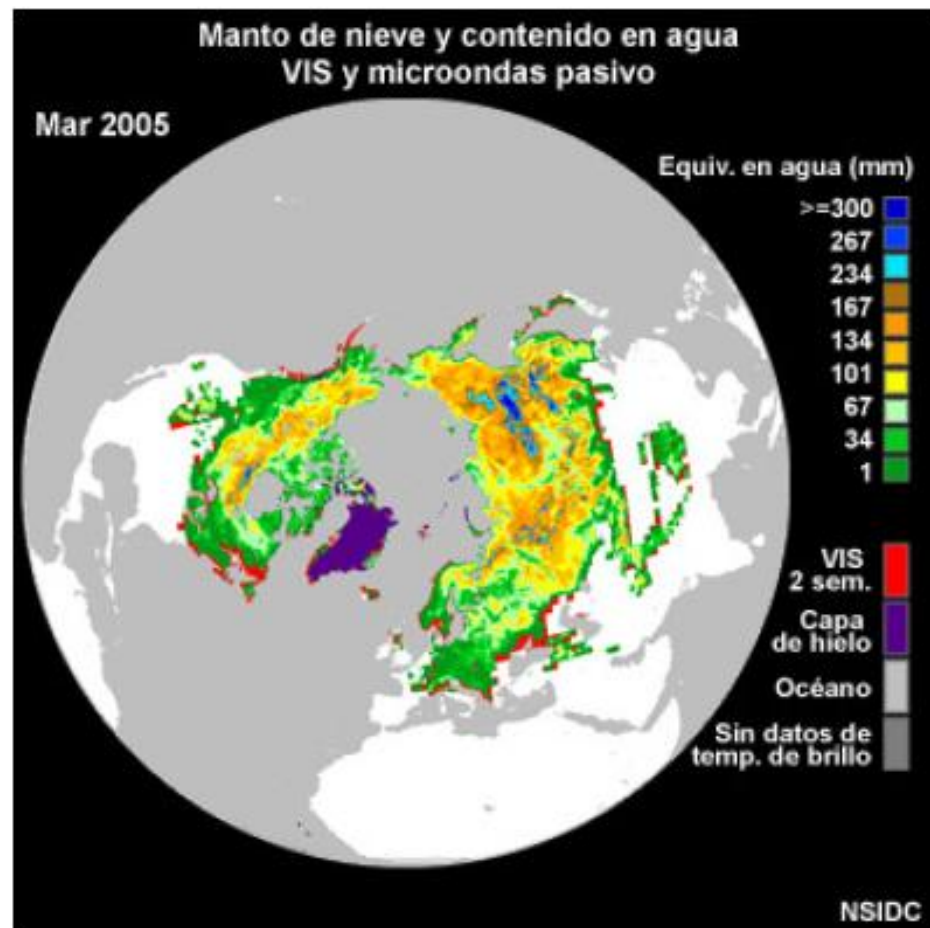


Fig. 21

O satélite DMPS realiza as suas observações de madrugada e ao final do dia. Isto proporciona uma vantagem importante de sermos capaz de observar o estado da neve quando é menos provável que haja mudanças rápidas e piso molhado devido à neve derretida. Como já foi dito, a emissividade aumenta quando a camada de neve está molhada e mascara as condições reais dentro da neve e complica o processo de extracção de dados.

Graças à capacidade para detectar radiação de microondas nas faixas de 19 e 37 GHz, o SSM/I e o SSMIS são capazes de ajudar com o mapeamento da cobertura de neve e inferir o equivalente de água da neve.

Lembrar que a região de 19 e 37 GHz é particularmente sensível à dispersão de radiação de microondas pelas partículas de neve e que esta sensibilidade geralmente aumenta com a frequência.

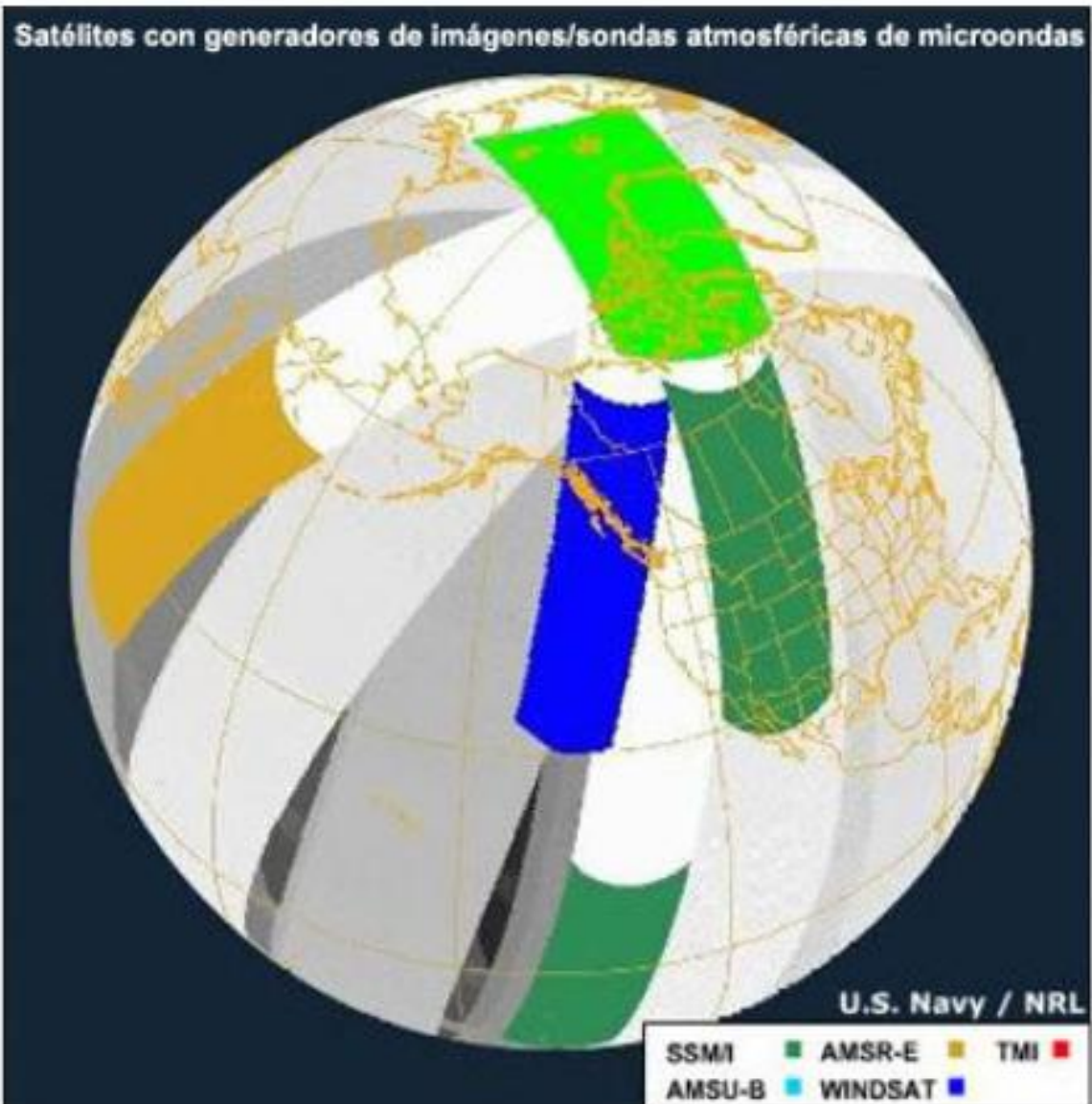
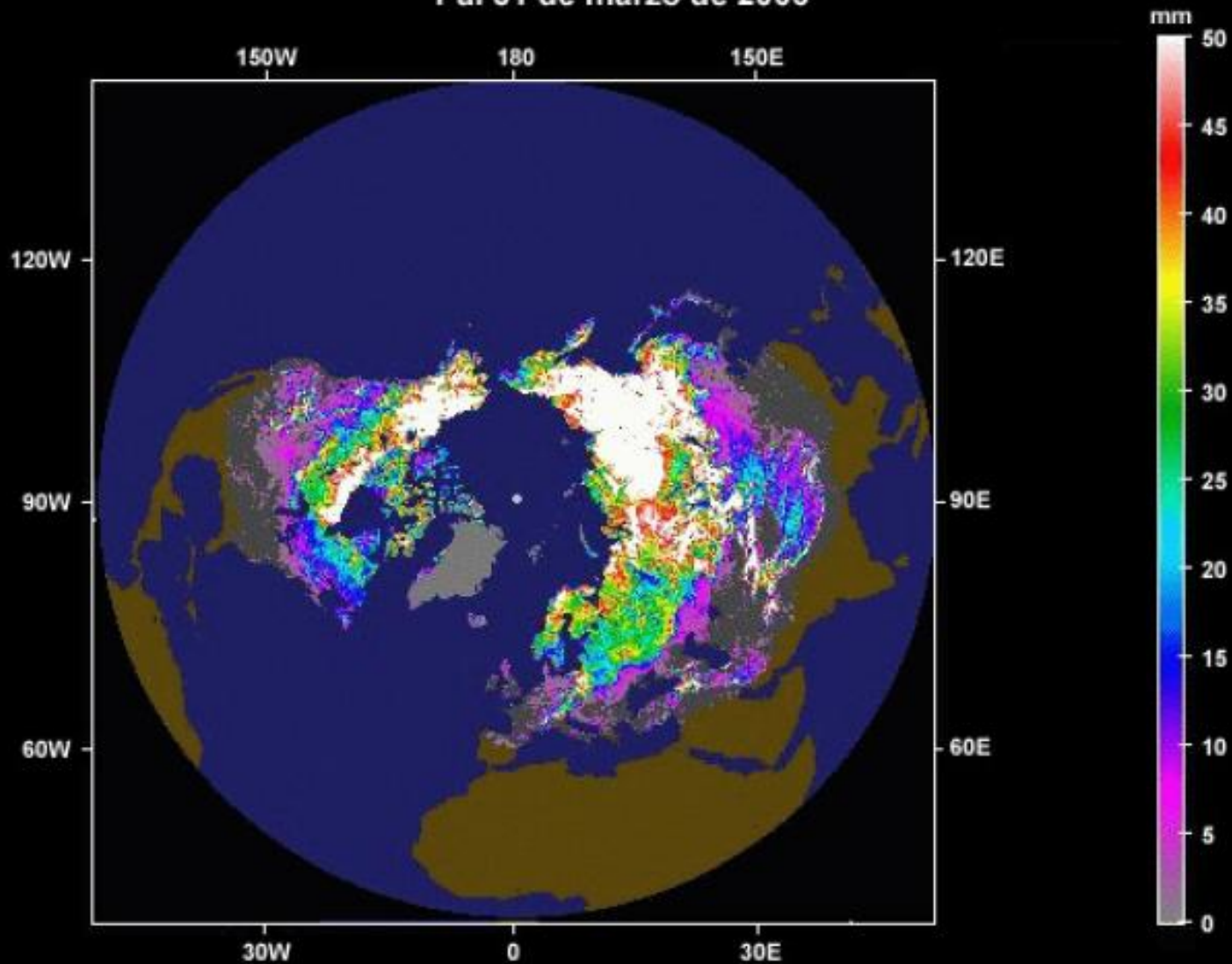


Fig. 23

AMSR-E

Desde que foi lançado em 2002, o sistema de microondas passivo AMSR-E a bordo do satélite polar Aqua EOS, tem-se feito observações adicionais de neve e gelo. Assim como os sistemas de órbita polar complementares SSM/I e SSMIS, o AMSR-E é um instrumento de varredura cônica, cuja resolução espacial é constante durante toda a observação.

**Aqua AMSR-E, equivalente en agua de la nieve sobre el hemisferio norte
1 al 31 de marzo de 2006**



NASA / NSIDC

Fig. 24

Os produtos do manto de neve compostos de AMSR-E diários e de cinco dias, assim como o manto de neve, a profundidade da cobertura de neve e equivalente em água, podem-se obter no Centro Nacional de Dados de Neve e Gelo [National Snow and Ice Data Center, NSIDC], da NOAA.

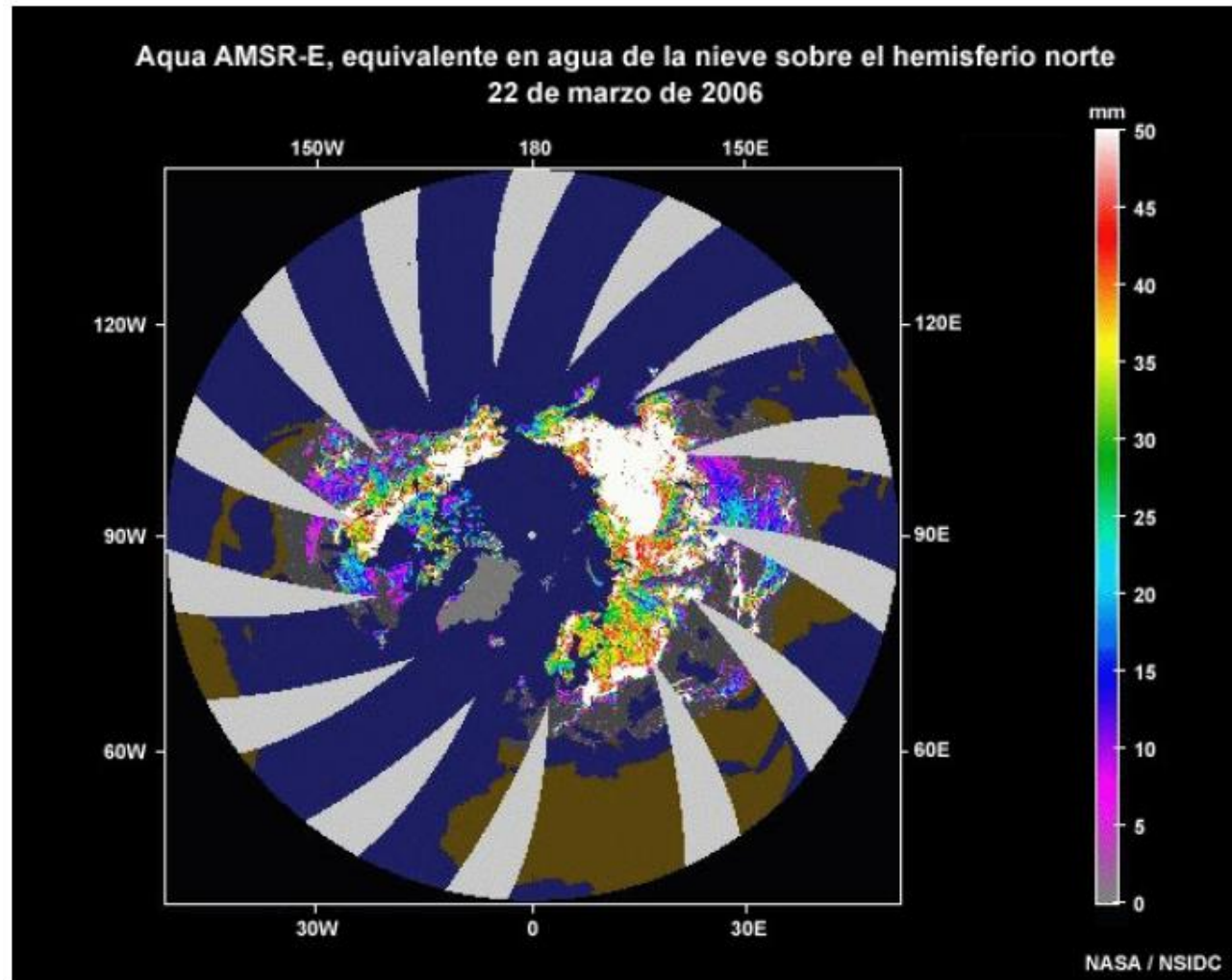


Fig. 25

**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**

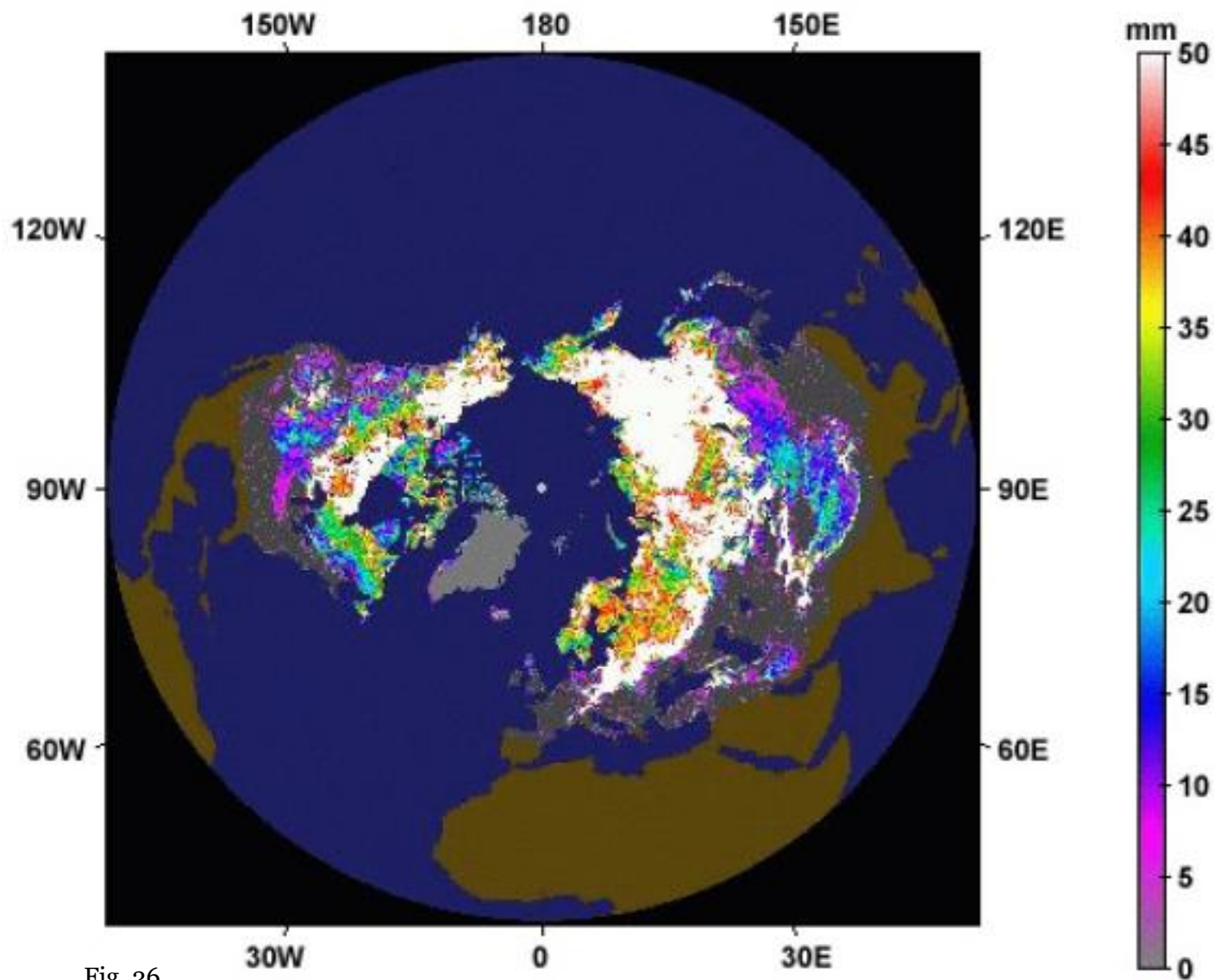


Fig. 26

AMSU e MHS

O instrumento de microonda passivo AMSU está a bordo dos satélites polares da série NOAA e MetOp formada a partir de uma acordo de cooperação entre a NOAA e EUMETSAT. AMSU compreende os instrumentos discretos, o AMSU-A e B a bordo dos satélites anteriores a NOAA-18 e MetOp, e o AMSU-A e a sonda de humidade por microondas [Microwave Humidity Sounder, MHS] a bordo dos satélites mais novos. Cada par de instrumento tem canais de detecção a frequências entre 23 e 190 GHz.



Fig. 27

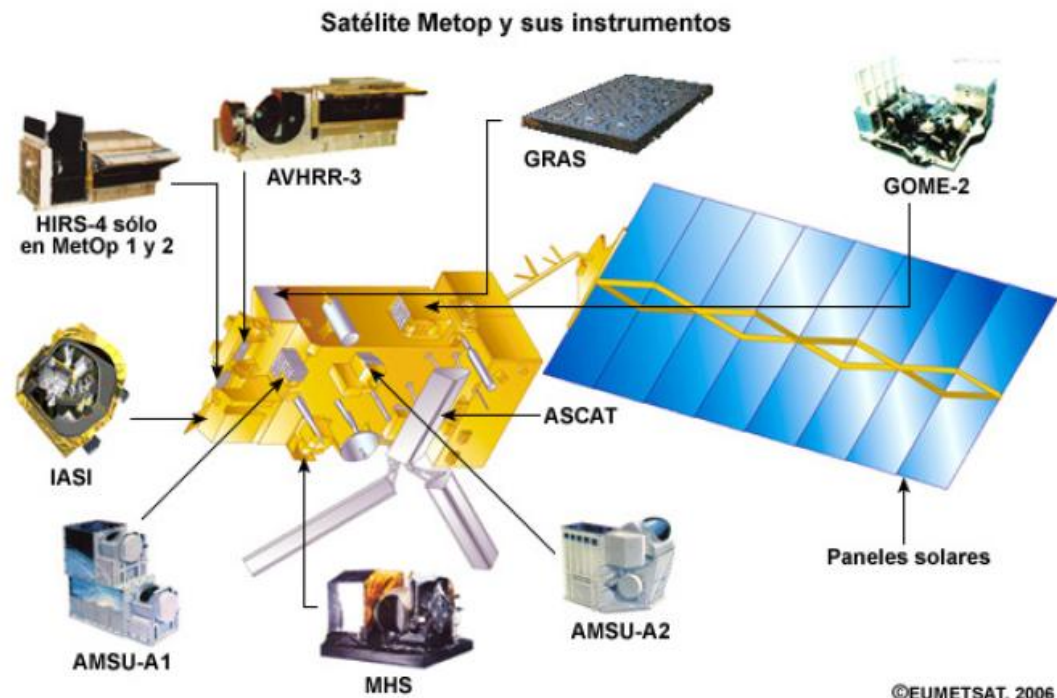


Fig. 28

©EUMETSAT, 2006

Os instrumentos AMSU e MHS fornecem dados para o a camada de neve e o produto equivalente de água da neve da cobertura de neve. A combinação das órbitas de madrugada e à tarde dos satélites NOAA e a órbita de manhã do MetOp garante uma cobertura global e actualizações diárias.



Fig. 29

O exemplo seguinte é uma análise composta nocturna do equivalente de água da neve de NOAA-18 para uma tempestade que cubriu de neve uma franja entre as montanhas rochosas e as planícies centrais do vale do Mississippi, o vale de Ohio e a região central da costa do Atlântico.

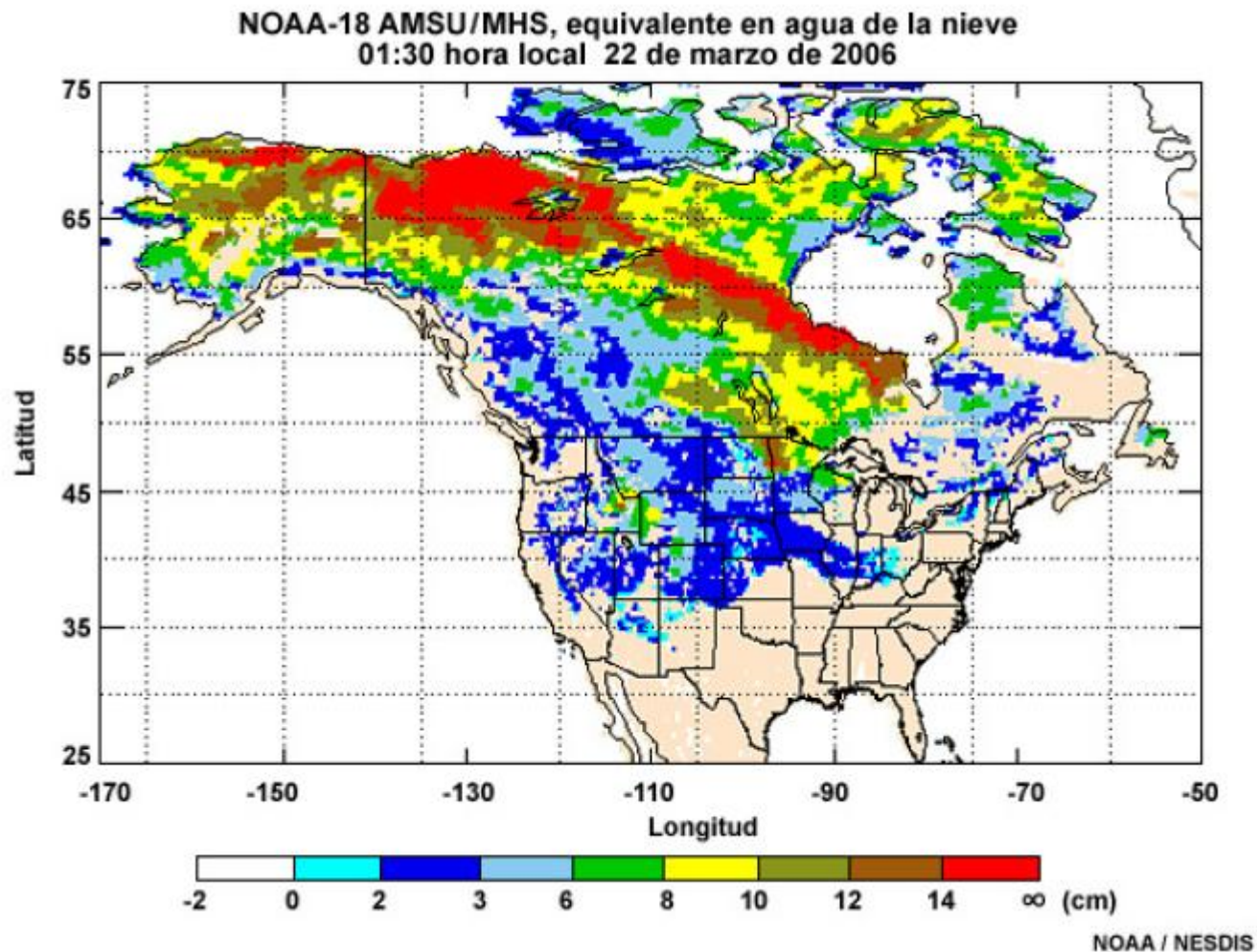


Fig. 30

O mapa correspondente da cobertura da neve mostra a cobertura global que cada satélite gera uma vez em cada 12 horas.

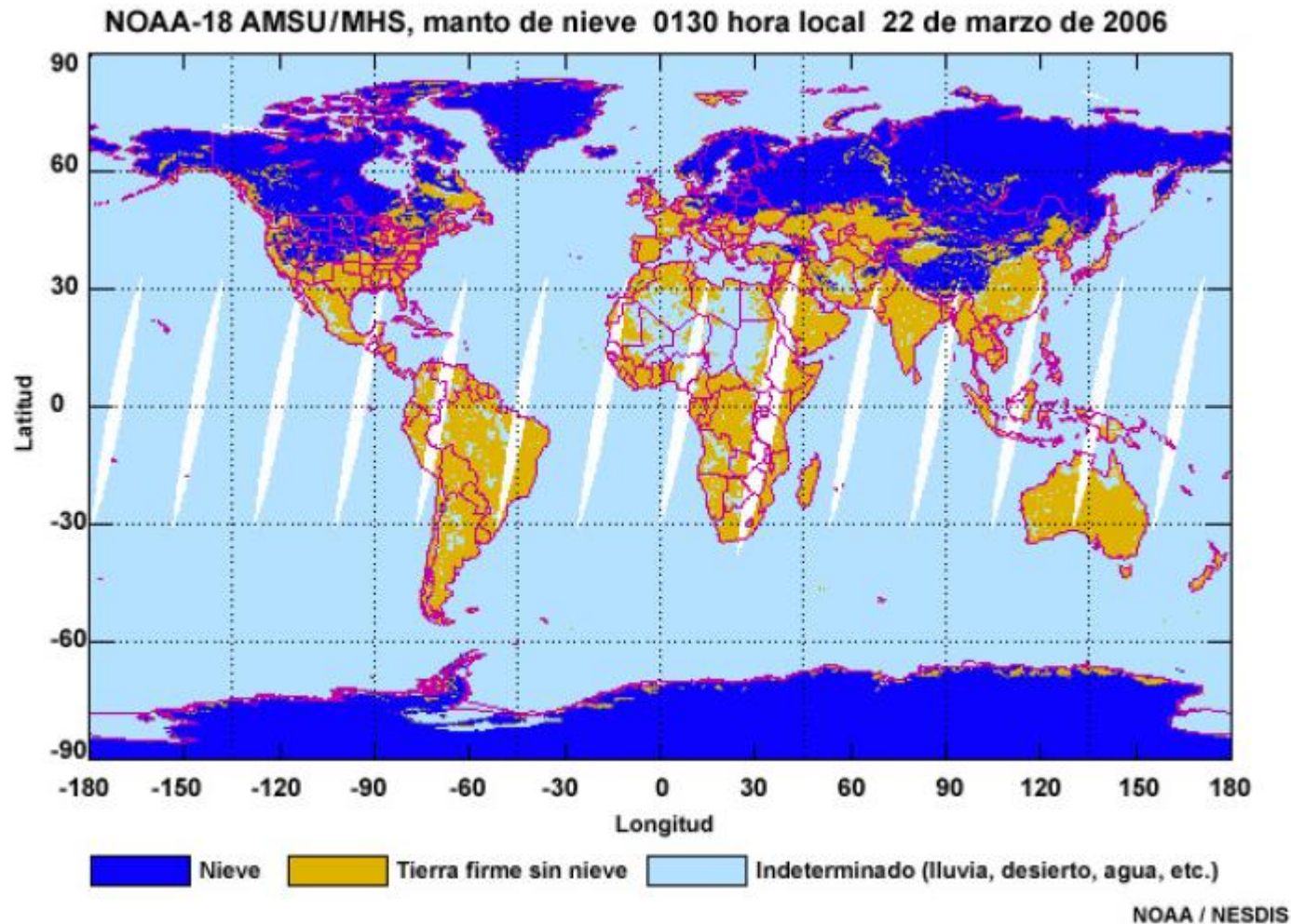


Fig. 31