

[Inicio](#) [Módulo](#) [Colaboradores](#) [Notas técnicas](#) [Encuesta](#) [Prueba](#)

## Creación de productos meteorológicos a partir de datos satelitales

*Adaptación de un webcast presentado por la Dra. Marianne König*

Producido por The COMET® Program en colaboración con EUMETSAT

Enlaces directos a las secciones:

[Dra. Marianne König](#)

### Sección 1: Introducción

- 1.1 [Descripción general](#)
- 1.2 [Ventajas](#)
- 1.3 [Limitaciones](#)
- 1.4 [Acerca de esta presentación](#)

### Sección 2: Productos simples

- 2.1 [Introducción](#)
- 2.2 [Diferenciación: producto vegetación](#)
- 2.3 [Diferenciación: producto fase del agua en las nubes](#)
- 2.4 [Imágenes RGB compuestas](#)
- 2.5 [Ejemplos de otros productos](#)

### Sección 3: Productos cuantitativos

- 3.1 [Necesidad de productos cuantitativos](#)
- 3.2 [Generación de productos cuantitativos](#)
- 3.3 [Ejemplo de máscara de nubes](#)

### Sección 4: Producto máscara de nubes de Meteosat

- 4.1 [¿Qué es el producto máscara de nubes?](#)
- 4.2 [Descripción básica del proceso de recuperación](#)
- 4.3 [Umbralización para IR y VIS](#)
- 4.4 [Determinación de valores de cielo despejado en IR](#)
- 4.5 [Más sobre los modelos de transferencia radiativa](#)
- 4.6 [Máscara de nubes basada en IR sobre el océano](#)
- 4.7 [Máscara de nubes basada en IR sobre tierra firme](#)
- 4.8 [Realce de imágenes IR con datos VIS](#)
- 4.9 [Uso de datos climáticos para cielo despejado en imágenes VIS](#)
- 4.10 [Uso de datos satelitales para cielo despejado en imágenes VIS](#)
- 4.11 [Ejemplo sobre el océano](#)
- 4.12 [Uso de análisis espaciales y temporales](#)

### Sección 5: Fuentes de error en los productos finales

- 5.1 [Exactitud de los datos satelitales](#)
- 5.2 [Proceso de recuperación de productos](#)

### Sección 6: Otros productos generados con técnicas de umbralización

- 6.1 [Detección de incendios descontrolados](#)
- 6.2 [Detección de plumas de ceniza volcánica](#)

### Sección 7: Beneficios de los datos espectrales adicionales

- 7.1 [Datos hiperespectrales](#)
- 7.2 [Perfiles atmosféricos](#)

### Sección 8: Resumen

- 8.1 [Resumen](#)

**Dra. Marianne König**

Me llamo Marianne König, y soy la coordinadora científica de EUMETSAT para los productos meteorológicos extraídos de los satélites Meteosat Segunda Generación, o MSG. Mi formación es de física atmosférica y llevo 28 años trabajando en el campo de la meteorología satelital, en un comienzo en el programa europeo Meteosat de la Agencia Espacial Europea y más después, a partir de 1995, en la serie Meteosat Segunda Generación y los productos correspondientes, en EUMESAT. Mi interés científico personal son las aplicaciones de pronóstico inmediato (*nowcasting*) por medio de los datos meteorológicos satelitales. En mi cargo actual brindo apoyo a las actividades de capacitación de EUMETSAT, lo cual me permite comprender las necesidades y preocupaciones de los pronosticadores y otros usuarios.

---

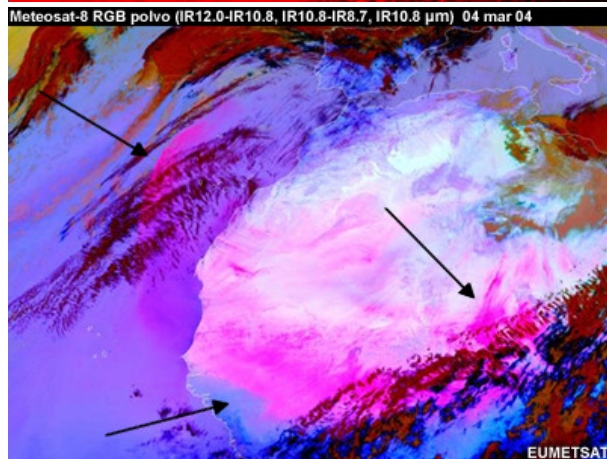
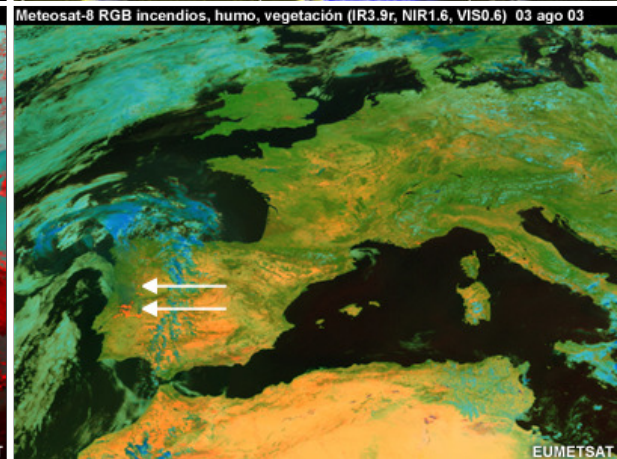
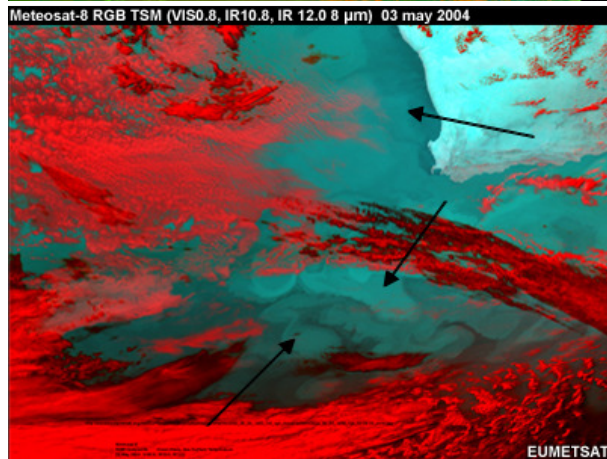
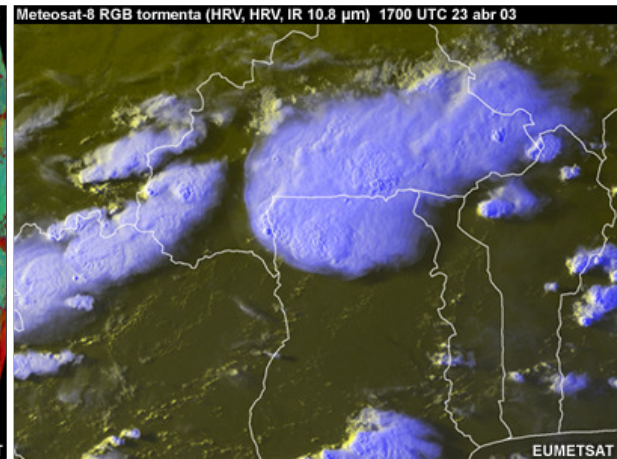
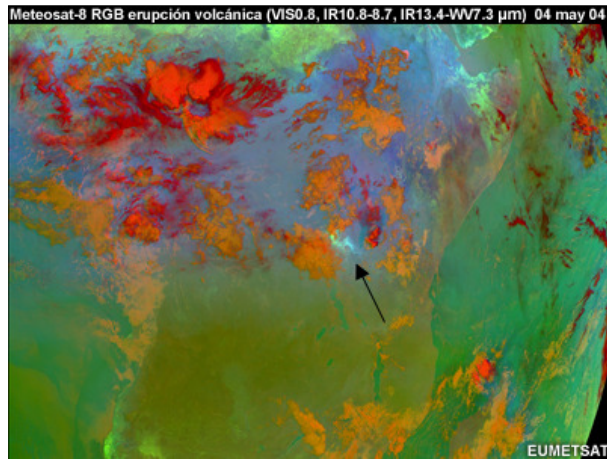


## Sección 1: Introducción

### 1.1 Descripción general

Los datos de los satélites meteorológicos actuales generan enormes cantidades de información que, si se extrae de forma adecuada, se puede usar para cuantificar diversas propiedades físicas. Nos referimos a esta información como "productos meteorológicos derivados" o simplemente como "productos".

Los productos proporcionan descripciones detalladas de varias estructuras atmosféricas, oceánicas y terrestres. Podemos citar como ejemplos la detección de ceniza volcánica y gases traza, de tormentas, de la temperatura de la superficie del suelo y del mar, de polvo, y de incendios descontrolados y humo.

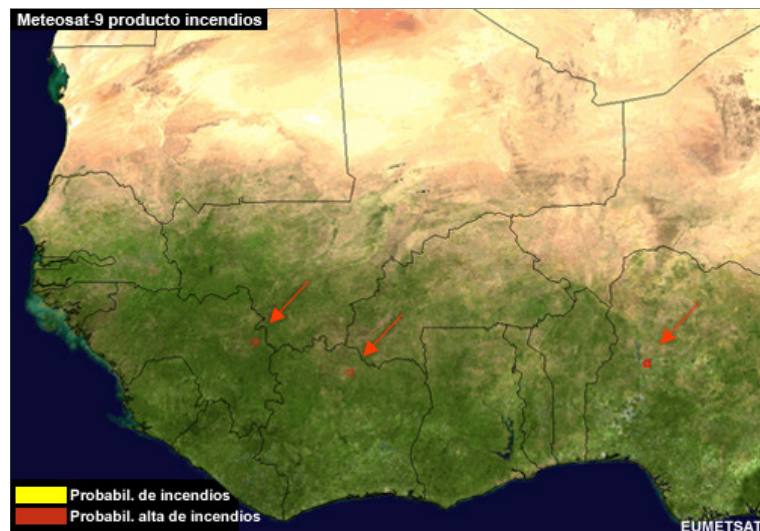




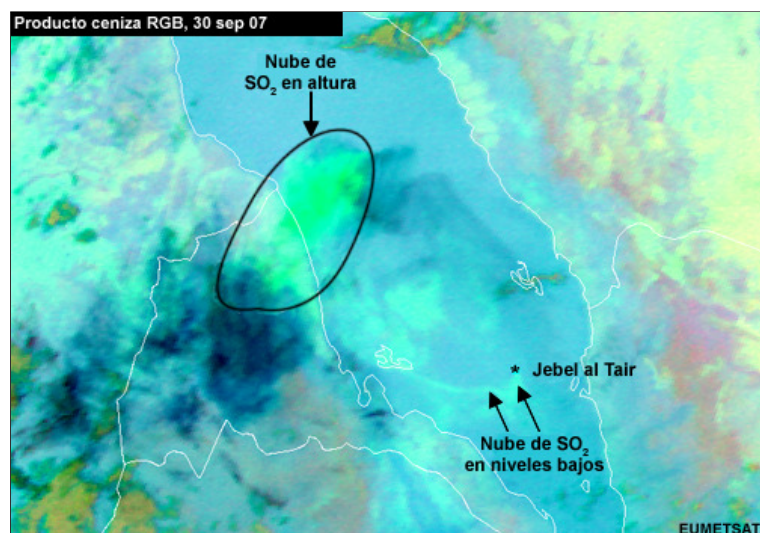
## 1.2 Ventajas

Los productos ofrecen muchos beneficios:

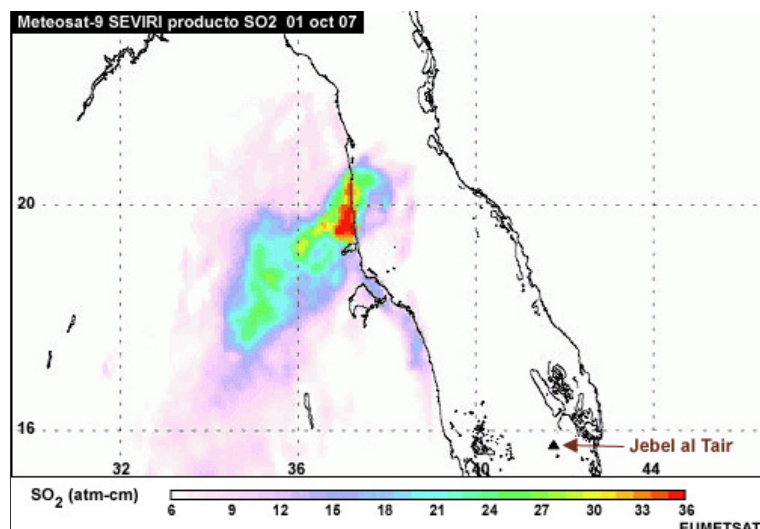
- Cada producto se centra en un único parámetro de interés para una comunidad de usuarios particular, como la detección de incendios en el caso del control de incendios.



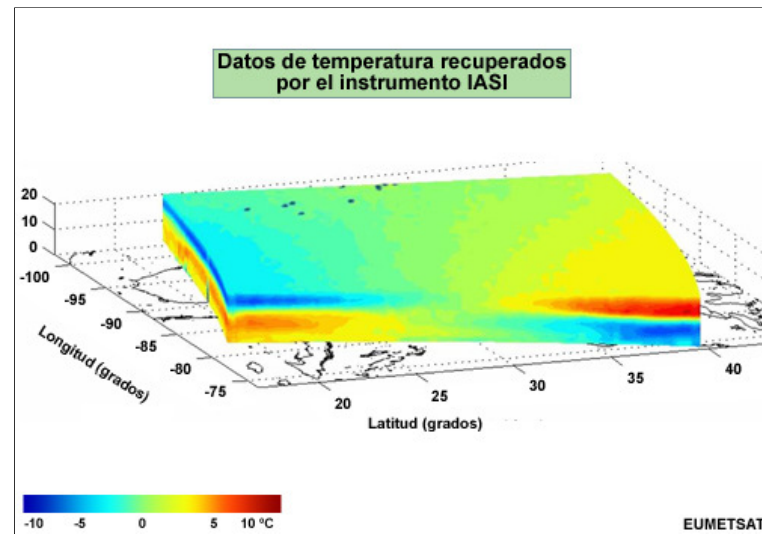
- Los productos relativamente "simples" destacan ciertas propiedades específicas y están pensados para la interpretación visual; este producto polvo RGB (rojo, verde y azul, por las siglas del inglés) muestra las condiciones varias horas después de la erupción del volcán Jebel al Tair en el Mar Rojo, el 30 de septiembre de 2007.



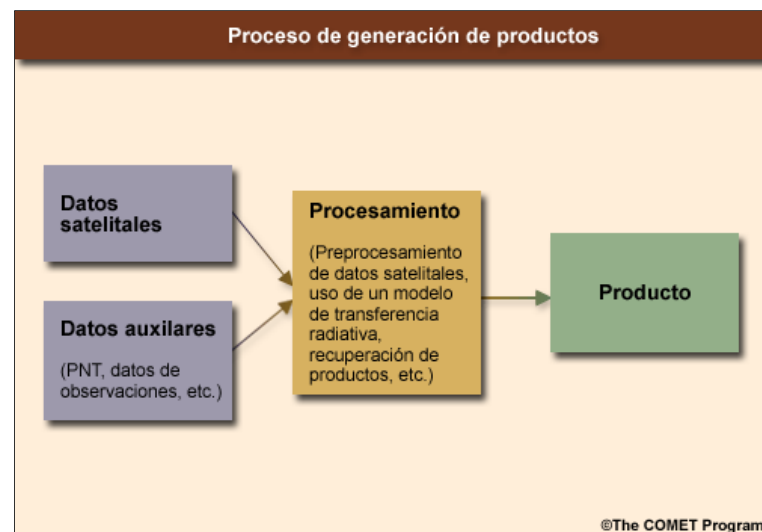
- Los productos más avanzados cuantifican propiedades físicas y producen parámetros con valores cuantificados. Este producto  $\text{SO}_2$ , que corresponde a la imagen anterior, se derivó para la mañana después de la erupción del volcán, cuando la nube de  $\text{SO}_2$  ya se había desplazado hacia el oeste. El contenido de  $\text{SO}_2$  se muestra en unidades Dobson, un sistema que se emplea con frecuencia para describir el contenido de los gases atmosféricos menores.



- Los productos "de punta", como esta representación tridimensional de los datos de temperatura recuperados por el interferómetro de infrarrojos para sondeos atmosféricos (*Infrared Atmospheric Sounding Interferometer*, IASI) del satélite polar Metop, aprovechan la vasta gama de datos que generan los miles de canales de los instrumentos de sondeo hiperspectrales a bordo de los satélites. ¡Imagínese lo que implicaría examinar e interpretar las imágenes de cada canal individual!

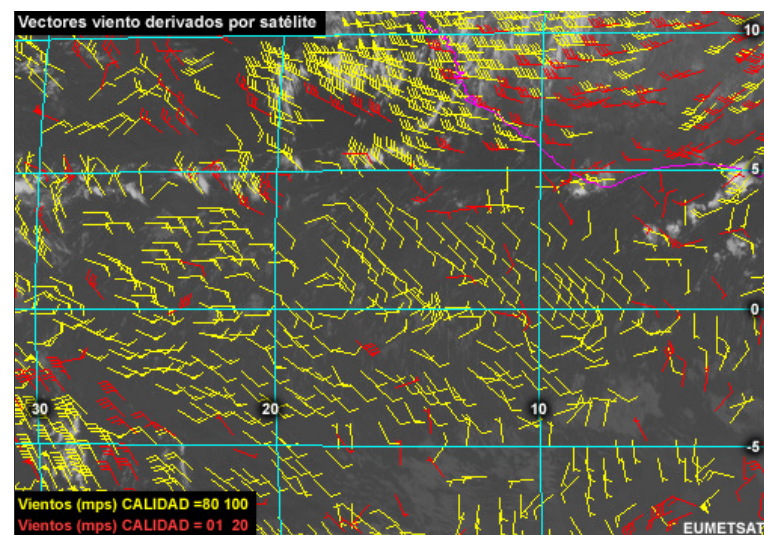


- El proceso de generación de productos puede ser automático y objetivo, sin depender de los conocimientos o la habilidad de ningún usuario en particular. Este flujograma representa un proceso general para la generación de productos.



- A menudo los productos incorporan índices de calidad, marcadores de errores o estimaciones de error, todos datos que pueden resultar útiles a la hora de generar un pronóstico en una situación compleja y esenciales para asimilar los datos en un modelo de predicción numérica del tiempo (PNT).

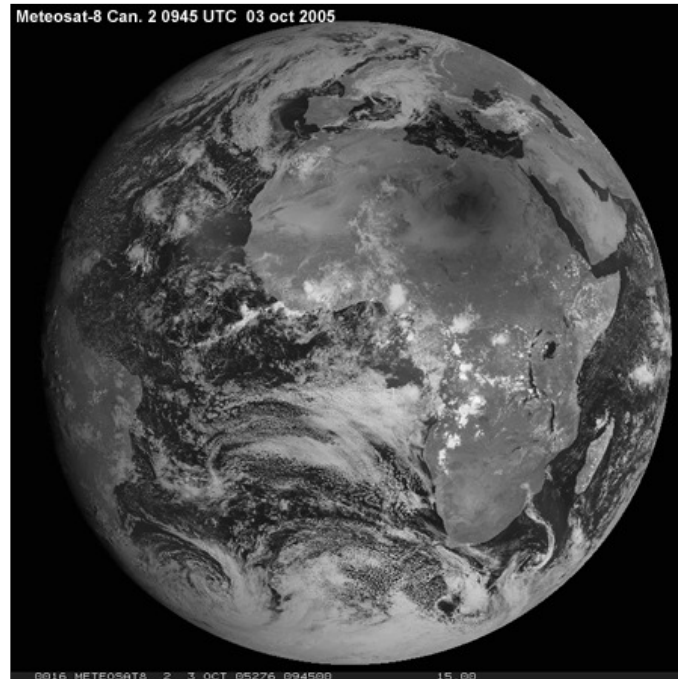
Por ejemplo, en este producto vientos derivado por satélite la calidad de los vectores se indica por medio del color, siendo los vectores amarillos de calidad alta y los rojos de calidad baja. Si compara los vectores rojos con sus vecinos, observará grandes diferencias en la velocidad o la dirección del viento.



### 1.3 Limitaciones

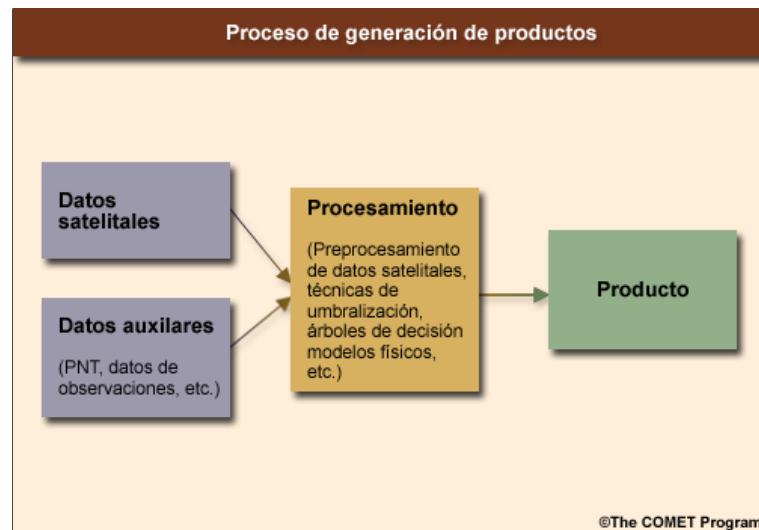
Los productos también tienen sus limitaciones. Por ejemplo, la recuperación automática de los productos se basa en suposiciones subyacentes que pueden no ser relevantes en cada situación.

Por ejemplo, normalmente damos por sentado que las zonas oscuras en las imágenes visibles, como la que se observa sobre el Sahara en esta imagen, están relacionadas con características de la superficie, como vegetación o inundaciones. Sin embargo, éstas son dos posibilidades bastante remotas para el Sahara.



En realidad, se trata de la sombra de la luna durante el eclipse solar del 3 de octubre de 2005. [Esta animación](#) revela el movimiento de la sombra hacia el este.

Los productos mejoran constantemente a medida que incorporamos técnicas matemáticas y métodos de cálculo más avanzados, y que adquirimos una comprensión más cabal de los procesos físicos involucrados.

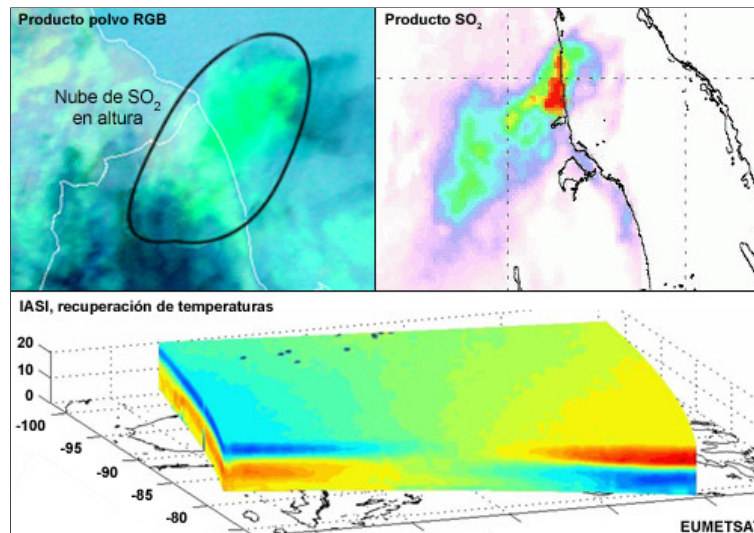




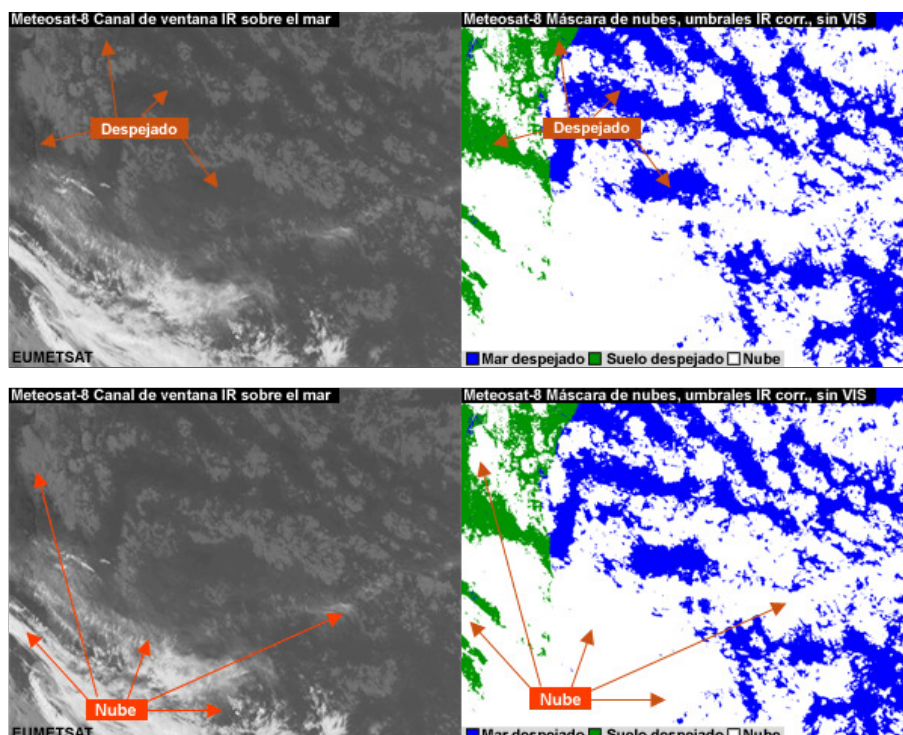
## 1.4 Acerca de esta presentación

Esta presentación brinda un panorama general del proceso mediante el cual transformamos los datos satelitales en productos satelitales como los siguientes:

- Productos de imágenes simples que emplean técnicas de diferenciación de canales, generación de imágenes RGB compuestas y otras técnicas para resaltar ciertas propiedades específicas.
- Productos cuantitativos que hacen uso de una variedad de datos de entrada y herramientas para producir parámetros discretos con valores preestablecidos.
- Productos más avanzados que aprovechan los miles de canales de los instrumentos hiperspectrales para derivar una amplia gama de parámetros.



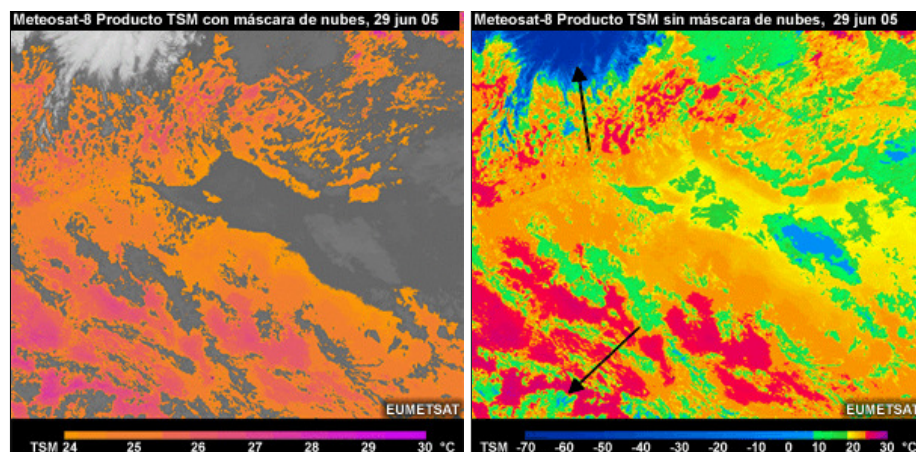
Veremos primero cómo se generan productos simples y luego usaremos el ejemplo de la máscara de nubes de Meteosat para centrar nuestra atención en la generación de productos derivados o cuantitativos. Las máscaras de nubes indican si cada píxel de una satélite imagen contiene nubes o está despejado.



Esto es esencial para poder determinar las propiedades de un píxel, como el tipo de nube (si está "nublado") o el tipo de superficie (si está "despejado").

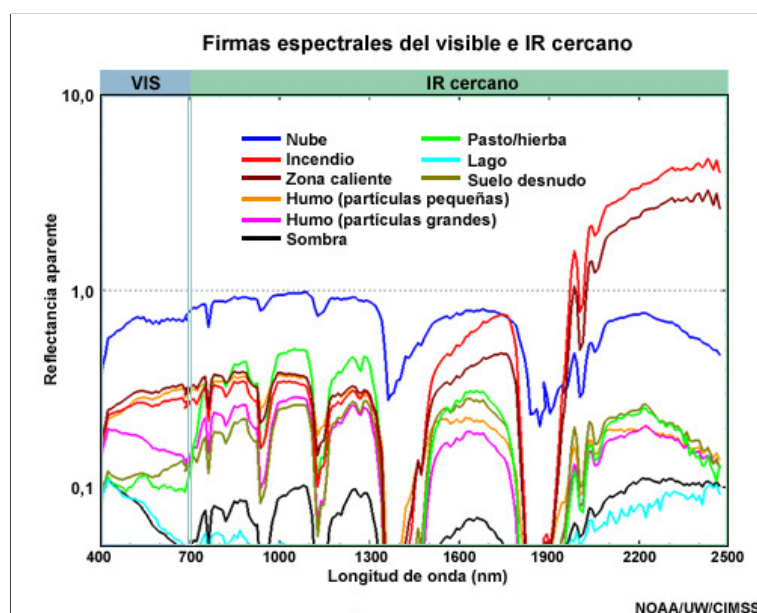
Estos productos temperatura de la superficie del mar (TSM) muestran los efectos del cribado adecuado de las nubes. En el primero (izquierda), las nubes se han cribado correctamente, por lo cual vemos valores que se acercan a una representación realista y las nubes se indican en tonos de gris. El segundo (derecha), sin embargo, se derivó sin usar una máscara de nubes precalculada. La imagen muestra valores de TSM por debajo de los 20 °C sobre las zonas sur del Atlántico tropical, lo cual probablemente no representa valores de TSM reales, así como valores de TSM de menos de -2 °C, lo cual es simplemente imposible.





También examinaremos las fuentes de error en los productos finales provocadas por imprecisiones en los datos satelitales o en el proceso de recuperación de datos. Algunos de estos errores son específicos de ciertos productos en particular, pero otros son comunes a todas las estrategias de recuperación de productos.

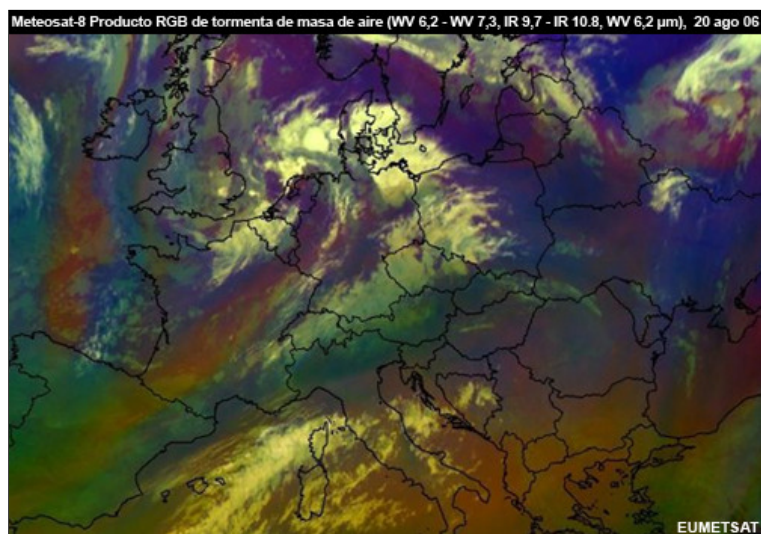
La presentación presupone la comprensión de las interacciones fundamentales entre la radiación y los cuerpos que permiten detectar desde un satélite varios elementos y sus propiedades dentro del sistema Tierra-atmósfera. Este conocimiento de base es esencial para comprender las firmas (o signatures) espectrales que ocurren a lo largo del espectro, su importancia para la selección de los canales, y cómo en última instancia la selección de los canales se relaciona con la recuperación de productos meteorológicos específicos.



## Sección 2: Productos simples

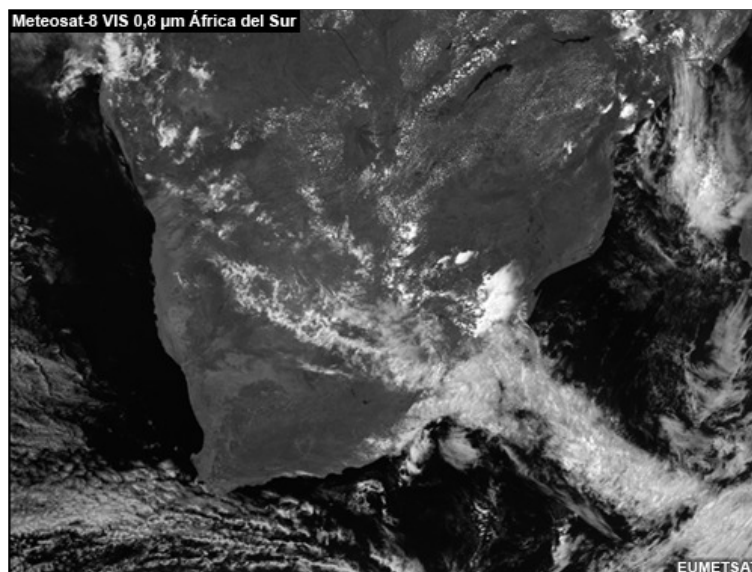
### 2.1 Introducción

Muchos de los productos "simples" con los cuales trabajamos, como este producto masa de aire, son relativamente fáciles de producir. Se derivan directamente de los datos de la imagen original mediante la aplicación de técnicas básicas de manipulación de imágenes, como la diferenciación de canales y composición con colores RGB. Estas tareas se pueden realizar con varios programas de procesamiento de fotografías o de imágenes de uso común. Los productos "simples" resaltan propiedades específicas y tienen como objetivo permitir la interpretación visual.

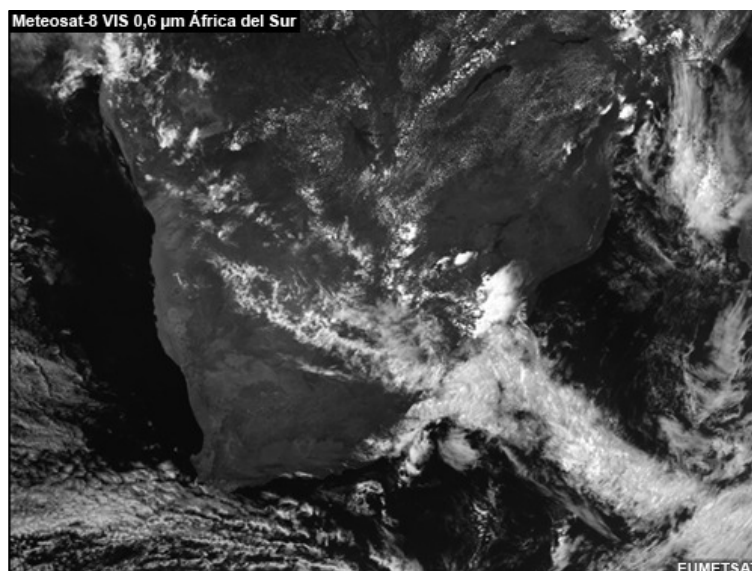


## 2.2 Diferenciación: producto vegetación

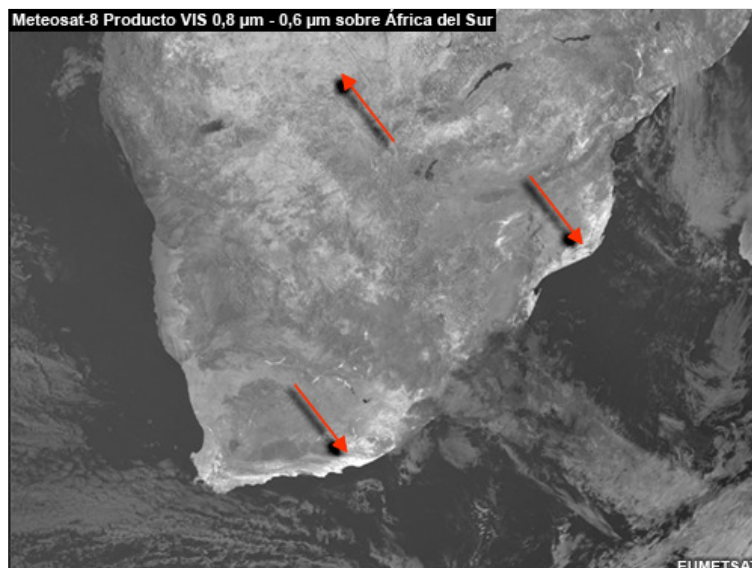
Veamos un ejemplo de diferenciación. En esta imagen visible de 0,8 micrómetros tomada sobre África del Sur, es fácil distinguir visualmente los elementos de tierra firme, mar y nubes.



Pero si deseamos investigar con más detalle la superficie terrestre, la información de esta imagen es limitada. Es mejor combinarla con otra imagen visible tomada con una longitud de onda diferente, como 0,6 micrómetros.



Si restamos los valores grises que representan las cantidades de luz solar reflejada en las dos imágenes, obtenemos un simple producto vegetación.



Las zonas de tierra firme con vegetación verde se destacan claramente por su color blanco o gris claro.

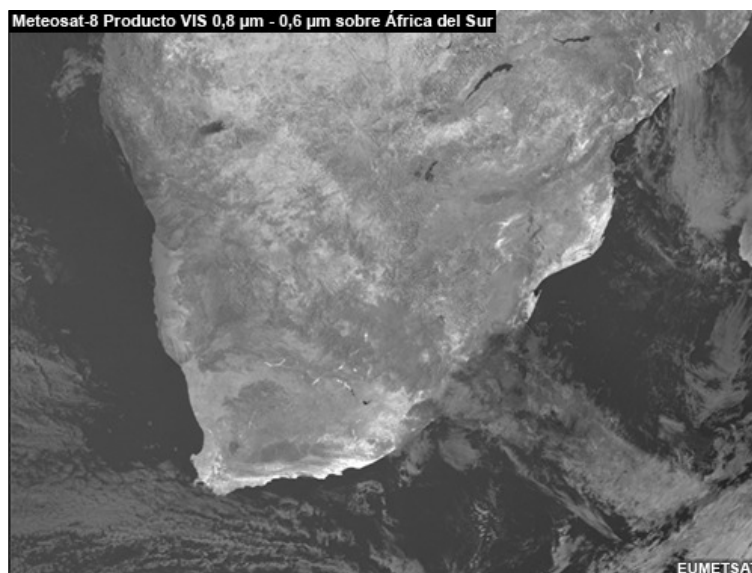
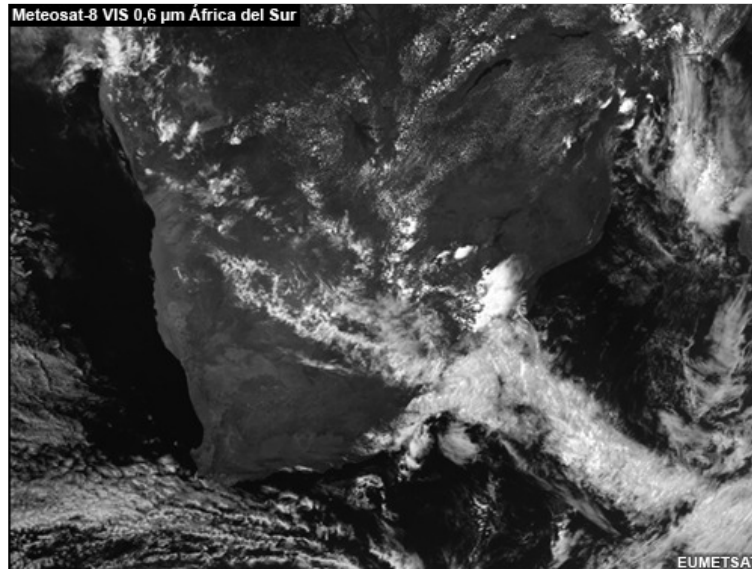
---



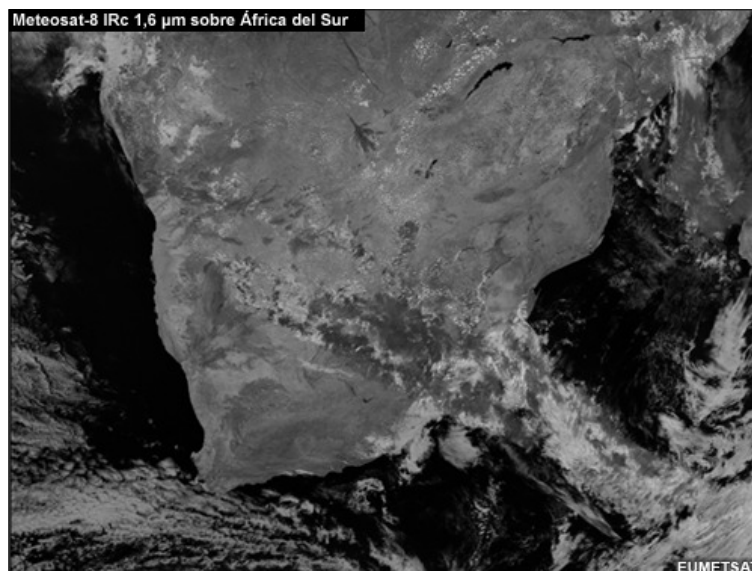
### 2.3 Diferenciación: producto fase del agua en las nubes

Aunque la imagen de diferencia entre los dos canales permite ver muchas estructuras de la superficie terrestre, no brinda mucha más información sobre las nubes de lo que nos brindan las dos imágenes individuales. Eso se debe a las pequeñas diferencias que existen en la reflectancia de las nubes entre los dos canales visibles.

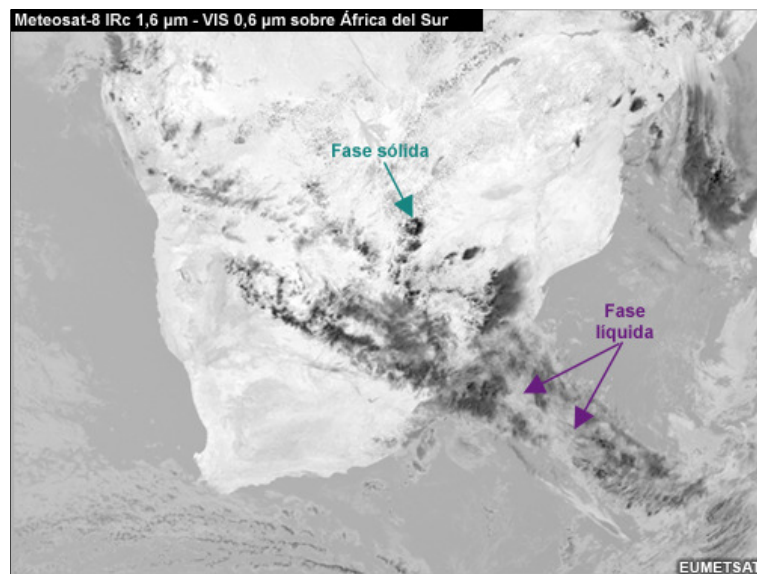
Las nubes son estructuras reflexivas relativamente brillantes en las imagen visible (primera imagen) y objetos gris oscuro en la imagen de diferencia (segunda imagen).



Para obtener un mejor análisis cualitativo de las nubes, vamos a introducir el canal infrarrojo cercano (IRc) de 1,6 micrómetros y calcular la diferencia entre éste y el canal visible de 0,6 micrómetros.

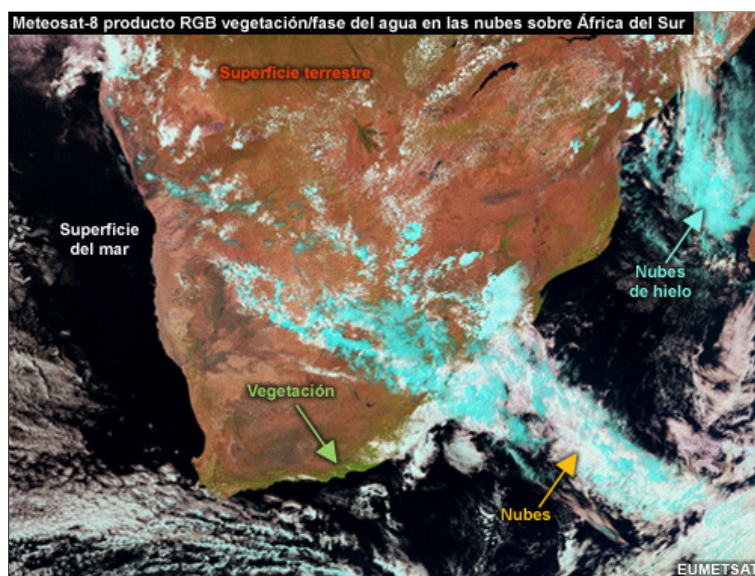


El simple producto fase del agua en las nubes generado por este proceso muestra las diferencias en la reflectancia de la cima de las nubes relacionadas con la fase del agua en las nubes. Podemos distinguir las cimas de las nubes en fase sólida (gris oscuro a negro) de las de fase líquida (gris claro).



## 2.4 Imágenes RGB compuestas

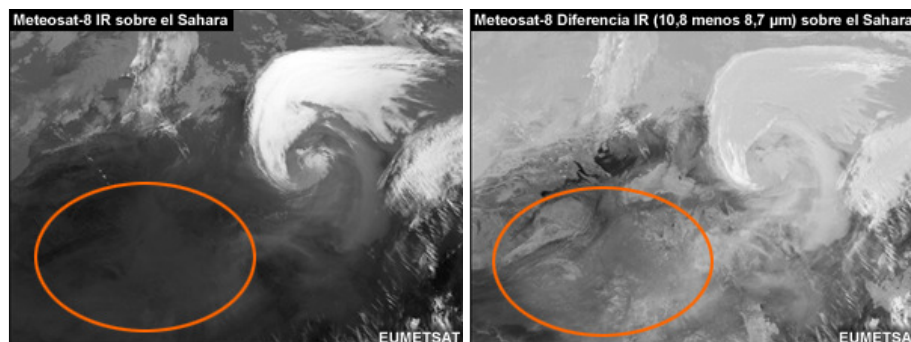
Si componemos los tres canales (dos visibles y uno infrarrojo cercano) en una sola imagen RGB (rojo, verde y azul, por las siglas del inglés), generamos un simple producto combinado "vegetación/fase del agua en las nubes". Al asignar cada canal a un color rojo, verde y azul correspondiente, podemos obtener un producto de aspecto casi realista en el cual el verde corresponde a la vegetación, los tonos pardos/rojos indican otros tipos de suelo, la superficie marina es oscura y las nubes son blancas. Sólo las nubes de hielo quedan resaltadas (de forma no realista) en cian.



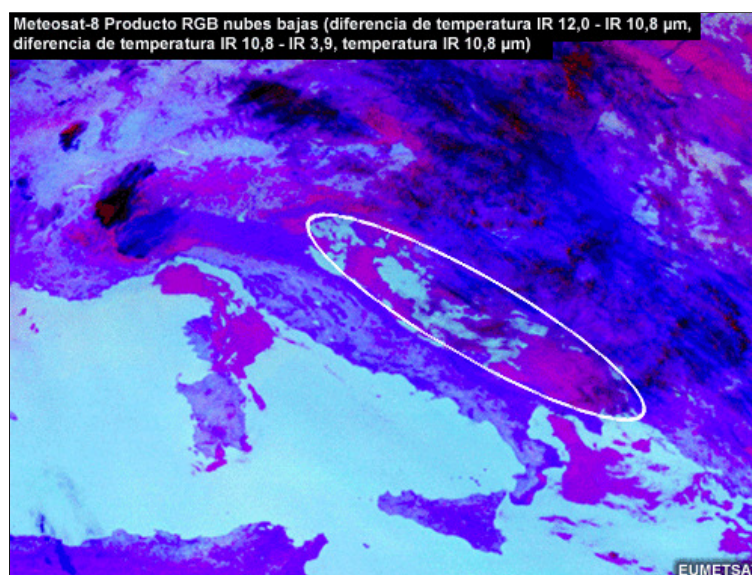
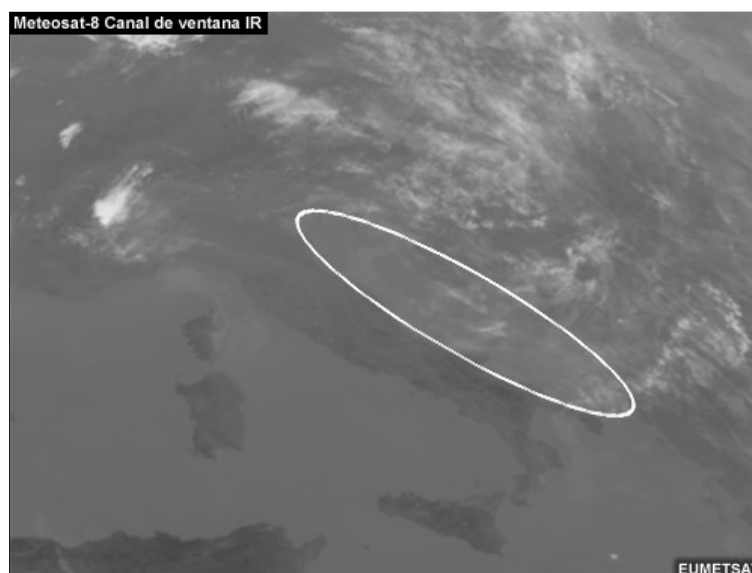
## 2.5 Ejemplos de otros productos

Si extendemos los canales empleados para generar los productos básicos de modo que incluyan el infrarrojo de onda larga, que es sensible a diferentes propiedades térmicas, podemos detectar:

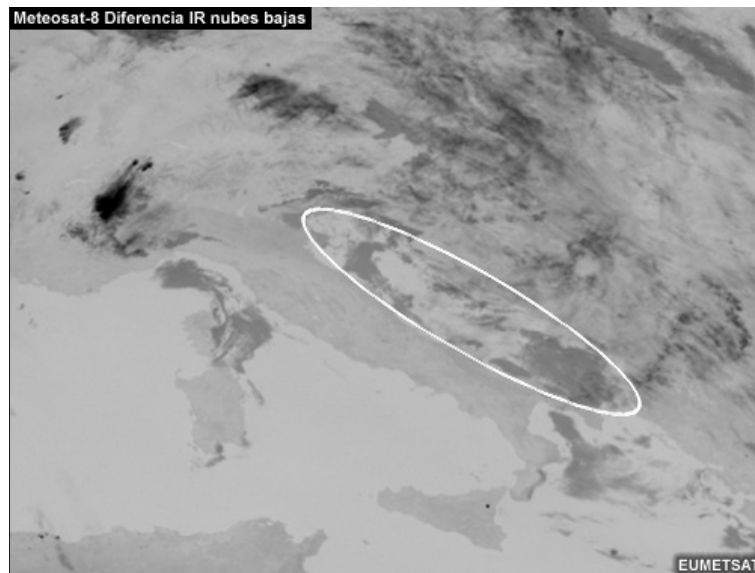
- Las estructuras de superficie de los desiertos; la imagen de un solo canal de ventana IR (izquierda) muestra el norte del Sahara como una superficie caliente homogénea, pero la imagen de diferencia de dos canales IR (10,8 menos 8,7 micrómetros) revela estructuras de superficie más detalladas, gracias a la sensibilidad del canal de 8,7 micrómetros a los diferentes tipos de suelo.



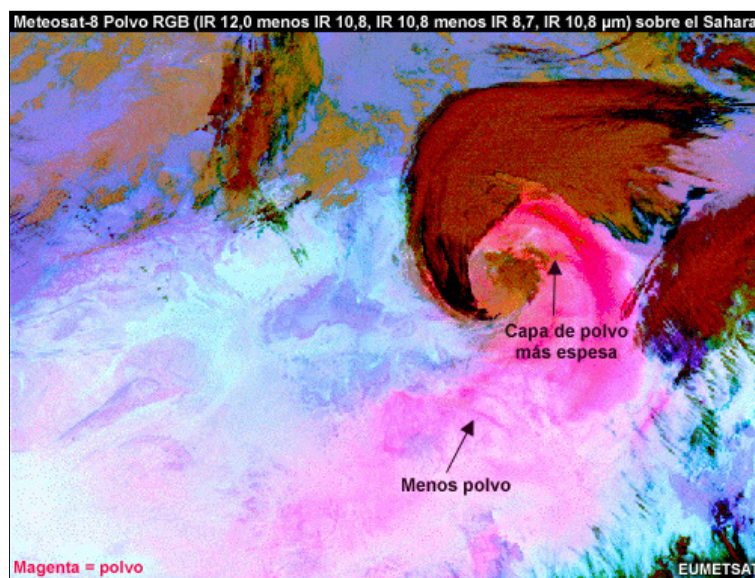
- Las nubes bajas por la noche; mientras no son aparentes en esta imagen de un solo canal infrarrojo de onda larga, tienen un aspecto morado en la imagen RGB compuesta de tres canales infrarrojos (segunda imagen) y se ven como estructuras gris oscuro el producto infrarrojo de diferencia (tercera imagen).







- Tormentas de polvo; en esta imagen RGB compuesta, la extensa tormenta de polvo sobre Argelia se ve de color magenta.



## **Sección 3: Productos cuantitativos**

### **3.1 Necesidad de productos cuantitativos**

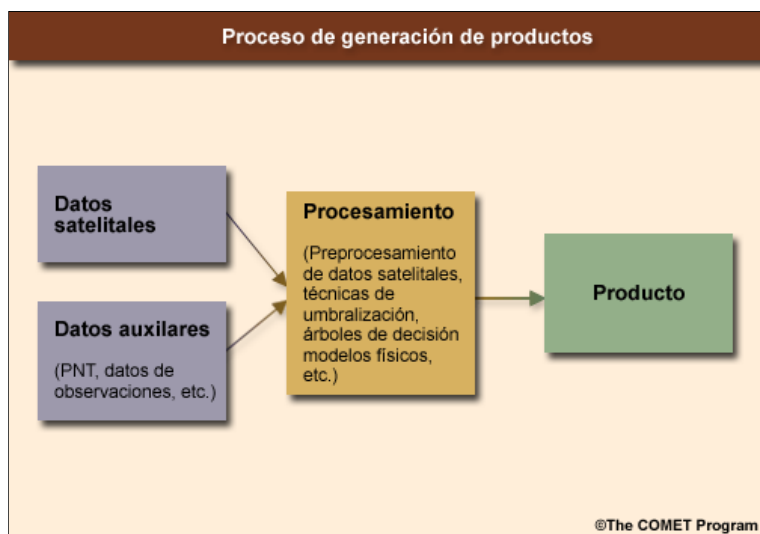
El producto polvo RGB de la última imagen de la sección anterior permite distinguir visualmente las áreas con capas de polvo más o menos espesas, pero es imposible inferir la carga de polvo exacta en términos de  $\text{kg/m}^3$ . Para eso necesitamos un producto derivado que cuantifique una propiedad física y produzca un parámetro con valores fijos.

---

### 3.2 Generación de productos cuantitativos

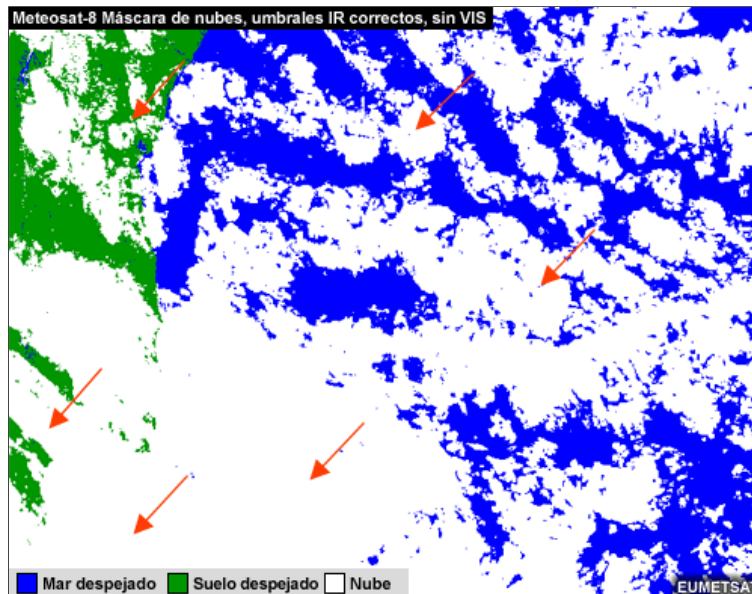
Los productos derivados requieren técnicas y métodos de recuperación más avanzados que permitan manipular una variedad de datos de entrada que a menudo provienen de otras fuentes aparte de los satélites meteorológicos, como los modelos de predicción numérica del tiempo, los modelos físicos (por ejemplo, los modelos de transferencia radiativa), las observaciones in situ y los conjuntos de datos climatológicos.

Los datos de entrada requieren métodos de recuperación más avanzados y las herramientas que permitan manipularlos, como técnicas de umbralización, árboles de decisión, algoritmos estadísticos y modelos físicos.

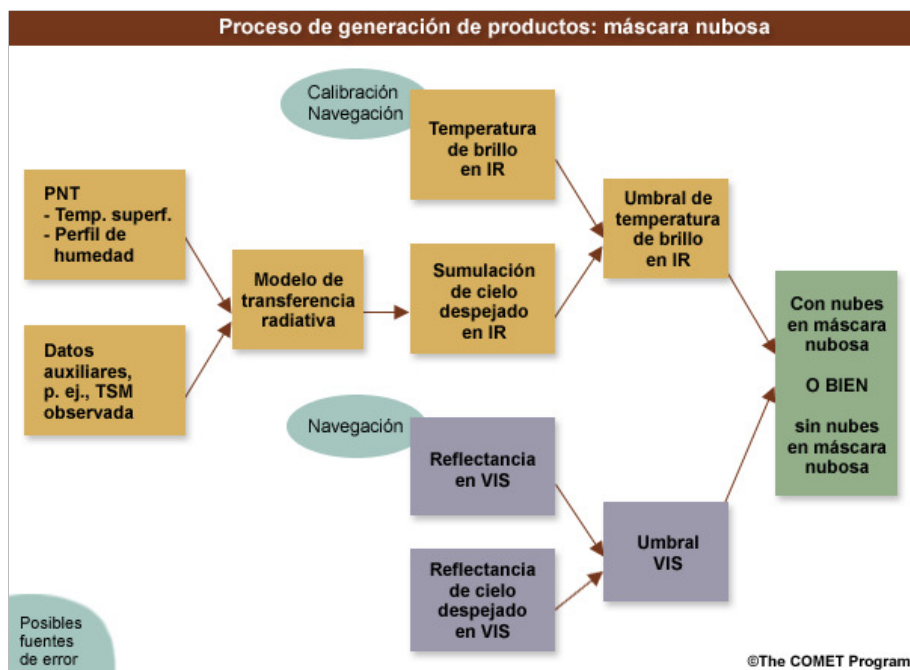


### 3.3 Ejemplo de máscara de nubes

En la próxima sección examinaremos un ejemplo de un producto cuantitativo, la implementación operativa del producto máscara de nubes de Meteosat, que es similar a las máscara de nubes de otros instrumentos de generación de imágenes.



A medida que veamos cada paso individual del proceso de recuperación de datos, usted aprenderá algunas de las estrategias generales que podemos aplicar para extraer los productos. También aprenderá la importancia de los datos de imagen subyacentes y otros datos de entrada auxiliares. Sin embargo, tenga presente que cada producto tiene su propio proceso de derivación que incluye conjuntos de datos de entrada, herramientas y suposiciones subyacentes particulares. La descripción detallada del producto máscara de nubes es meramente una guía para ilustrar los principios y las consideraciones generales que se emplean en el proceso de generación de los productos derivados de las observaciones satelitales.



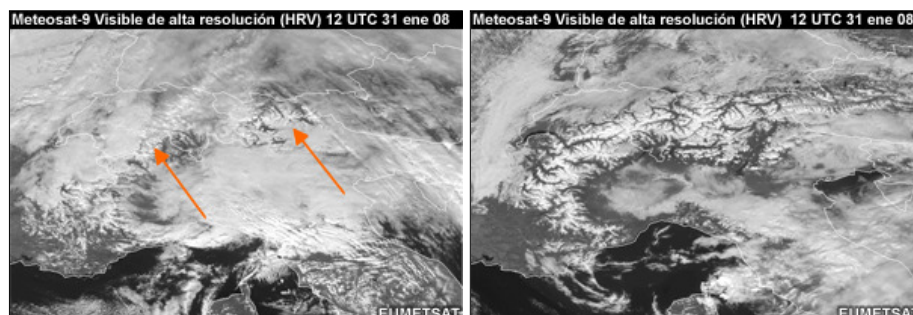


## Sección 4: Producto máscara de nubes de Meteosat

### 4.1 ¿Qué es el producto máscara de nubes?

Uno de los primeros pasos en el proceso de recuperación de muchos productos satelitales consiste en aplicar un producto máscara de nubes que indica si cada píxel contiene nubes o está "despejado". La buena detección de nubes es un aspecto extremadamente importante, porque las nubes ocultan la superficie en todas las bandas espectrales de emisiones solares y térmicas.

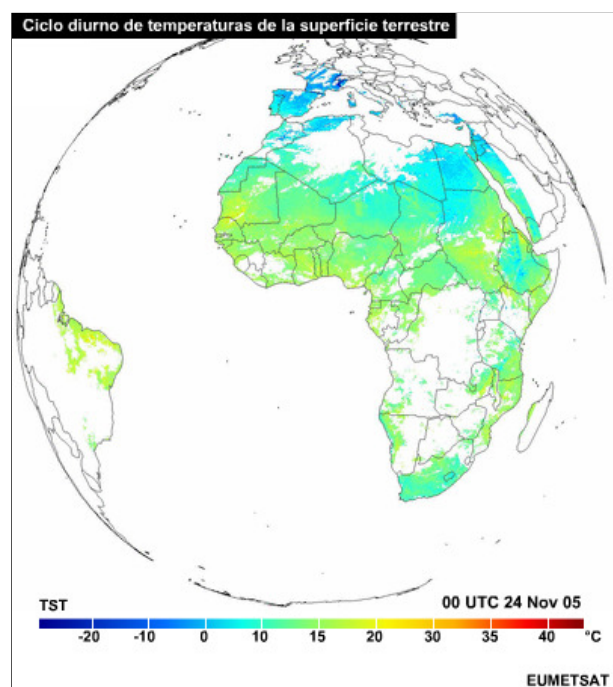
Esto es evidente en la imagen de la izquierda, en la cual las nubes ocultan casi por completo los Alpes, de modo que resulta difícil distinguir el manto de nieve de la capa nubosa.



Las mismas montañas se ven relativamente "despejadas" en la segunda imagen, aunque sigue siendo difícil determinar si en realidad las áreas brillantes blancas son nubes o nieve. Estos ejemplos subrayan la necesidad de usar una máscara de nubes para estimar el manto de nieve en las regiones alpinas. Aunque el producto máscara de nubes en sí no se usa mucho en el ámbito de pronóstico operativo, sí constituye la base de muchos otros productos.

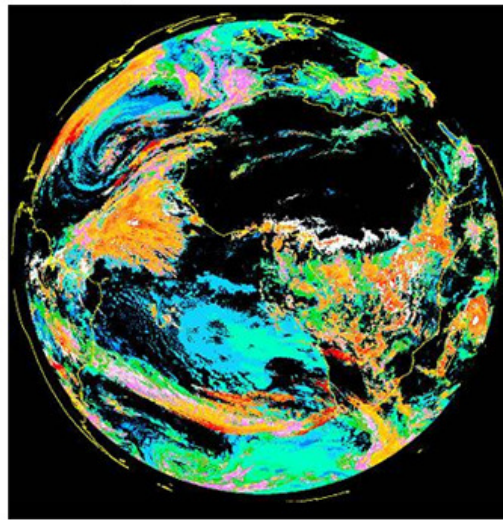
Los productos relacionados con la superficie, como los de detección de temperatura de la superficie terrestre y del mar, cubierta vegetal, manto de nieve e incendios descontrolados, sólo se pueden inferir para los píxeles en los cuales las nubes no ocultan la superficie.

Los beneficios de aplicar una máscara de nubes son evidentes en este producto, que muestra las temperaturas de la superficie terrestre para las superficies despejadas a lo largo de un día.



[\(Ver la animación\)](#)

A la inversa, los productos nubes sólo se pueden inferir para los píxeles identificados como nubosos. En este ejemplo, la máscara de nubes identificó los píxeles nubosos y el procesamiento subsiguiente permitió generar este producto altura de la cima de las nubes.

**Meteosat-8: producto altura de la cima de las nubes**

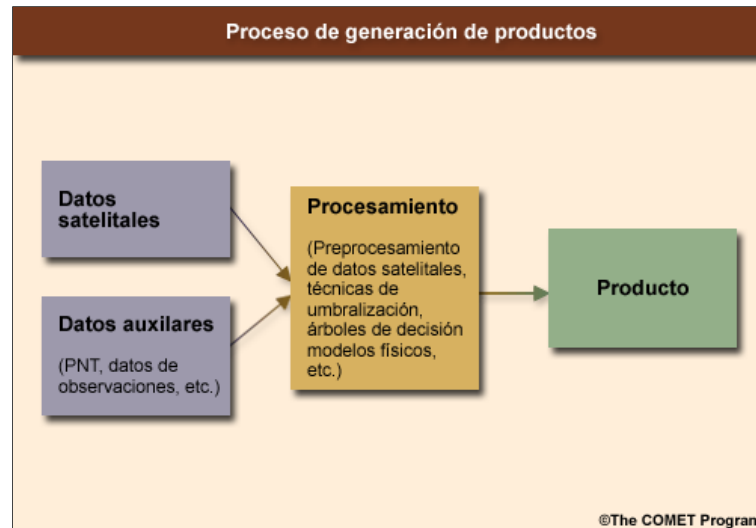
Intervalos de altura (km):

< 3,0	3,0 - 4,5	4,5-6,0	6,0 - 7,5	7,5 - 9,0	9,0 - 10,5	10,5 - 12,0	>12,0
-------	-----------	---------	-----------	-----------	------------	-------------	-------

EUMETSAT

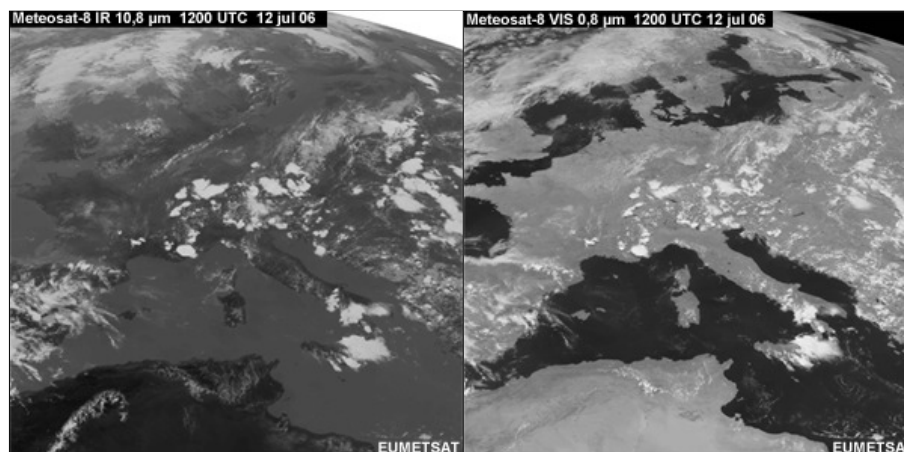
## 4.2 Descripción básica del proceso de recuperación

Algunas máscara de nubes, como el producto de Meteosat, se derivan a partir de imágenes visibles e infrarrojas convencionales y emplean una técnica de umbralización que identifica los píxeles en términos de nublados o despejados.



Esta técnica es similar a lo que hacemos cuando examinamos visualmente las imágenes tomadas en una banda en particular para identificar el manto nuboso: buscamos estructuras (grupos de píxeles) relativamente frías en las imágenes infrarrojas y estructuras brillantes en las imágenes visibles.

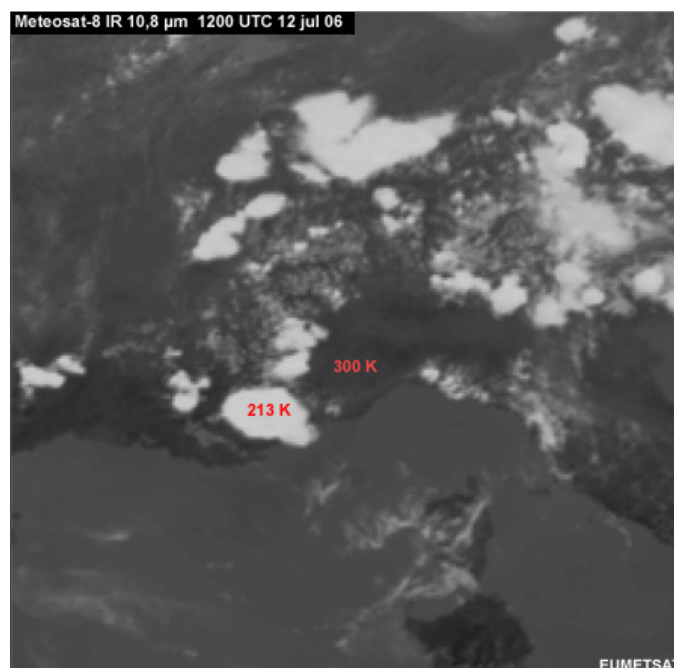
De forma análoga, la técnica de umbralización intenta detectar las estructuras que son más frías de lo esperado para condiciones de cielo despejado en las imágenes infrarrojas y después utiliza imágenes visibles para detectar las estructuras que son más brillantes de lo esperado para una región dada y condiciones de cielo despejado.



En última instancia, la selección del nivel de umbral (el valor que separa las partes nubladas de las partes despejadas en la escena) es producto de años de experiencia, pruebas y comparaciones de datos de imágenes. Las técnicas de umbralización suelen ser algoritmos altamente perfeccionados en los cuales es posible que un determinado conjunto de umbrales sólo se aplique a un instrumento, una región o un conjunto de condiciones en particular.

### 4.3 Umbralización para IR y VIS

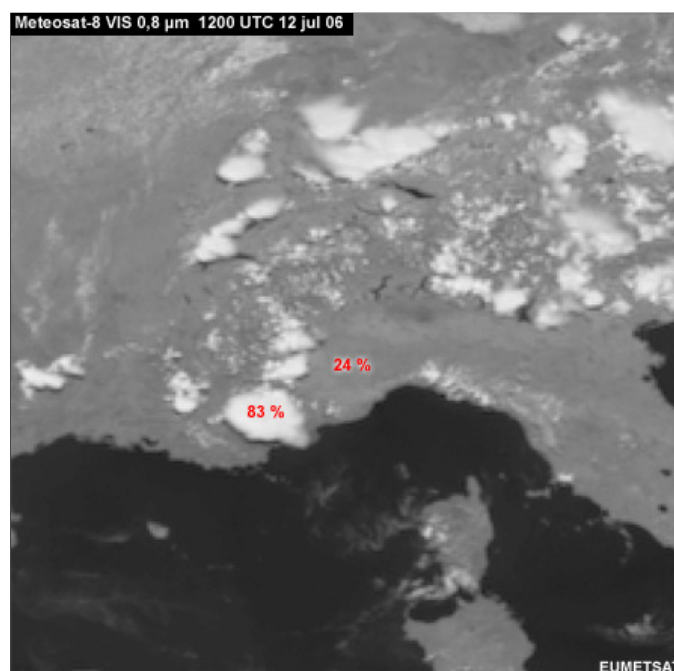
En esta imagen infrarroja ampliada se emplea una temperatura de brillo IR para cielo despejado de 300 K y una temperatura de cima de las nubes de 213 K (una diferencia de 87 K). Como esta diferencia excede el umbral (por ejemplo, 5 K), el píxel se identifica como nube.



#### Acerca de la temperatura de brillo:

Los satélites observan la energía emitida por el sistema Tierra-atmósfera en términos de valores digitales, que típicamente se usan para generar las imágenes que empleamos en los análisis cualitativos, como las imágenes infrarrojas y visibles. Para generar productos cuantitativos o comparar las observaciones satelitales con otras observaciones, los resultados generados por los modelos, etc., necesitamos un proceso de calibración que convierta los valores en cantidades físicas, como una radiancia o temperatura de brillo.

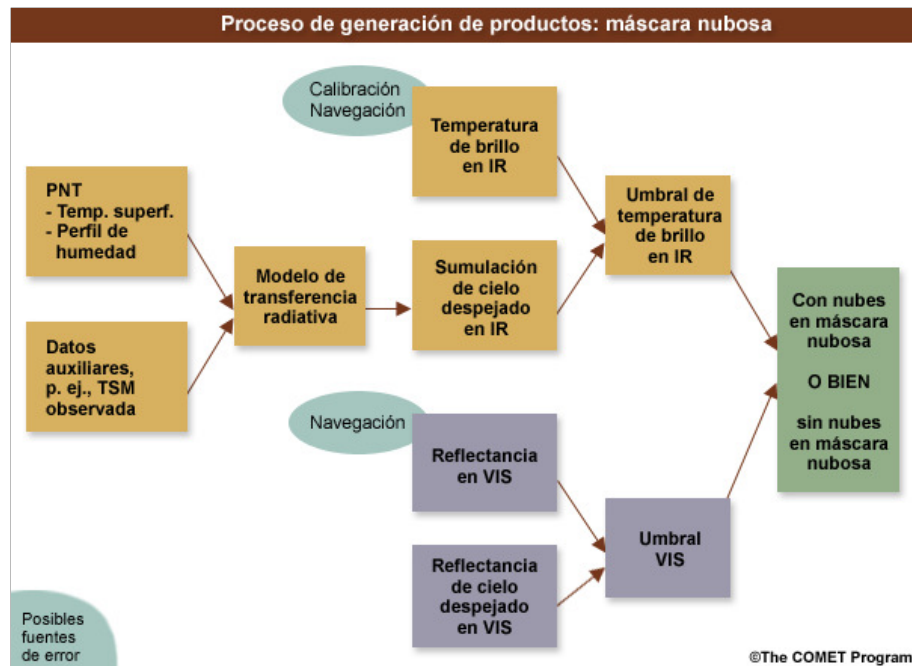
En este ejemplo de una imagen visible, se determinó una reflectancia en cielo despejado del 24 % y una reflectancia en la cima de las nubes del 83 %. Dada esta diferencia tan grande, la técnica de umbralización determinó que la reflectancia del 83 % indicaba la presencia de nubes y marcó esos píxeles como nubosos.



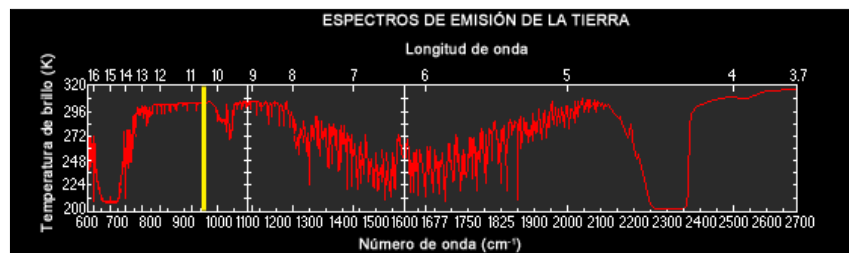


#### 4.4 Determinación de valores de cielo despejado en IR

Las temperaturas de brillo de cielo despejado en el infrarrojo se generan por medio de un modelo de transferencia radiativa que simula la temperatura de brillo que el satélite observaría en condiciones despejadas. La técnica de umbralización automatizada compara las mediciones satelitales con los valores del modelo de transferencia radiativa. Si el valor medido es mucho más frío de los anticipado, se identifica como nube.

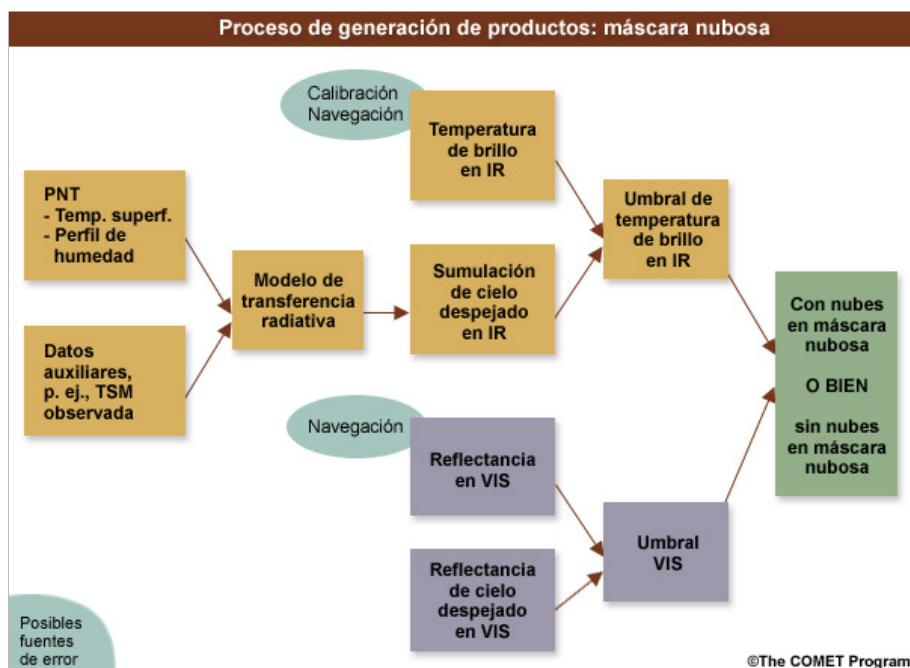


Observe que la técnica de umbralización de infrarrojos emplea un canal de ventana infrarroja, como el canal de 10,8 micrómetros que se utiliza a bordo de Meteosat. Una ventana infrarroja es una región del espectro en la cual la absorción por parte de los gases atmosféricos es mínima, lo cual significa que las vistas de la superficie despejada y de las nubes en diferentes niveles no se ven afectadas en medida significativa por los gases atmosféricos tales como el vapor de agua.



#### 4.5 Más sobre los modelos de transferencia radiativa

Los modelos de transferencia radiativa son una herramienta importante en muchas estrategias de recuperación de productos. Tales modelos simulan los procesos de transferencia radiativa de la atmósfera a una longitud de onda o una región espectral dada para un conjunto específico de condiciones de superficie y atmosféricas. Por tanto, el modelo de transferencia radiativa se utiliza como herramienta para calcular una temperatura de brillo esperada para condiciones despejadas.

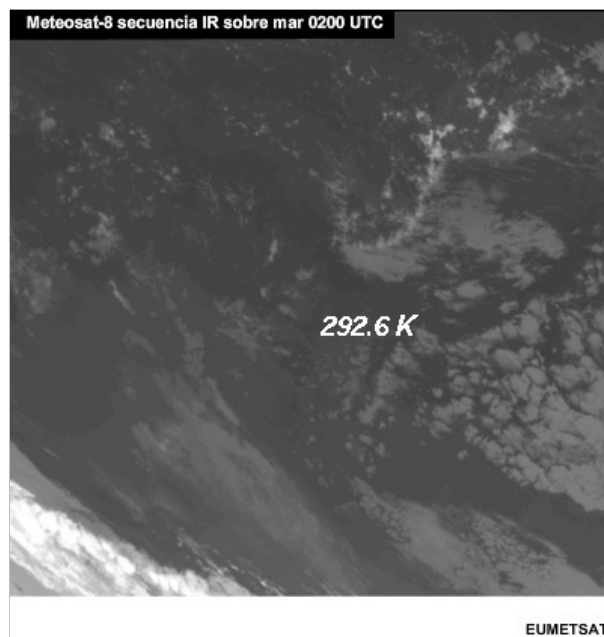
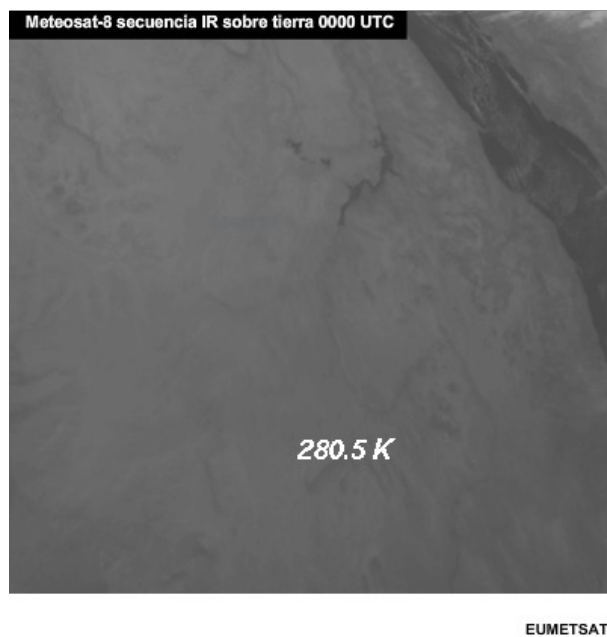


Para lograr una buena aproximación entre el resultado del modelo de transferencia radiativa y las temperaturas de brillo infrarrojas medidas necesitamos contar con una estimación de la temperatura de superficie lo más realista posible. Para el proceso de máscara de nubes de Meteosat, dicha estimación se deriva de los resultados numéricos generados por los modelos.

En la superficie del suelo, la temperatura de la capa superficial pasa por largos ciclos diurnos que a menudo los modelos de predicción numérica del tiempo no pueden resolver con exactitud. Esto puede crear un desajuste bastante grande entre las temperaturas de brillo observadas y modeladas, lo cual puede, a su vez, provocar una detección fallida (si la temperatura de brillo modelada es demasiado baja) o la detección falsa de nubes (si la temperatura de brillo modelada es demasiado alta).

Debido a que los valores de TSM son mucho menos variables, podemos anticipar que la técnica de umbralización de infrarrojos funcionará mejor sobre las zonas de alta mar.

Estas dos animaciones muestran las temperaturas de brillo del canal IR de 10,8 micrómetros sobre lugares específicos (despejados). Observe la presencia de un largo ciclo diurno sobre tierra firme, pero no sobre el mar. Veremos otros ejemplos de esto en las secciones subsiguientes.



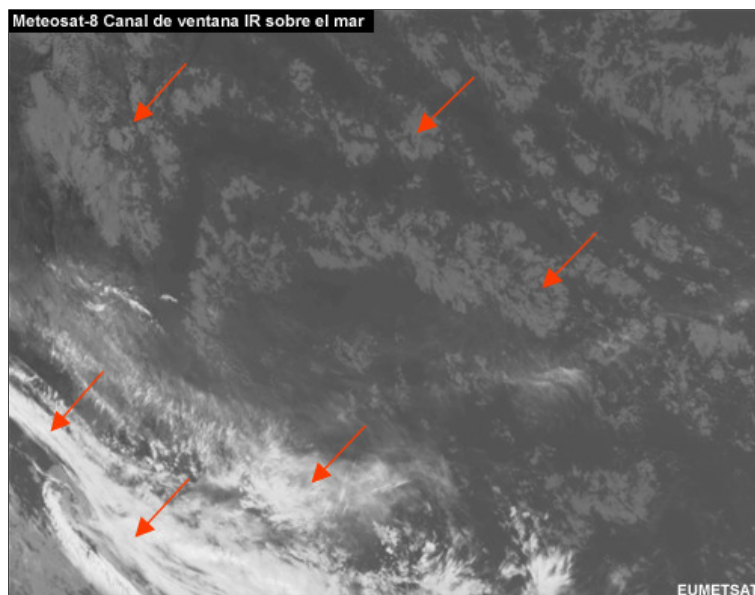
**([Ver la animación](#))**

**([Ver la animación](#))**

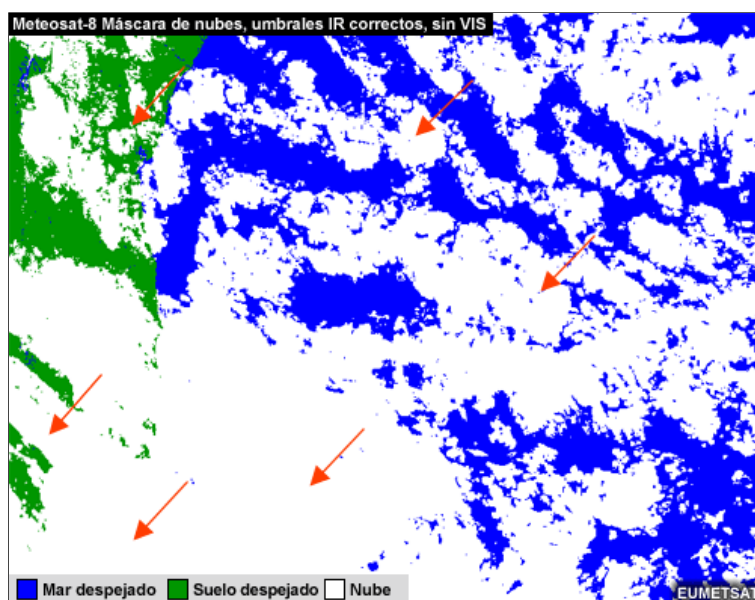
---

#### 4.6 Máscara de nubes basada en IR sobre el océano

Ésta es una imagen de ventana infrarroja de parte del océano Atlántico sur. Un análisis visual nos permite observar nubes frías altas en el sur y estratocúmulos fragmentados en el resto de la imagen.

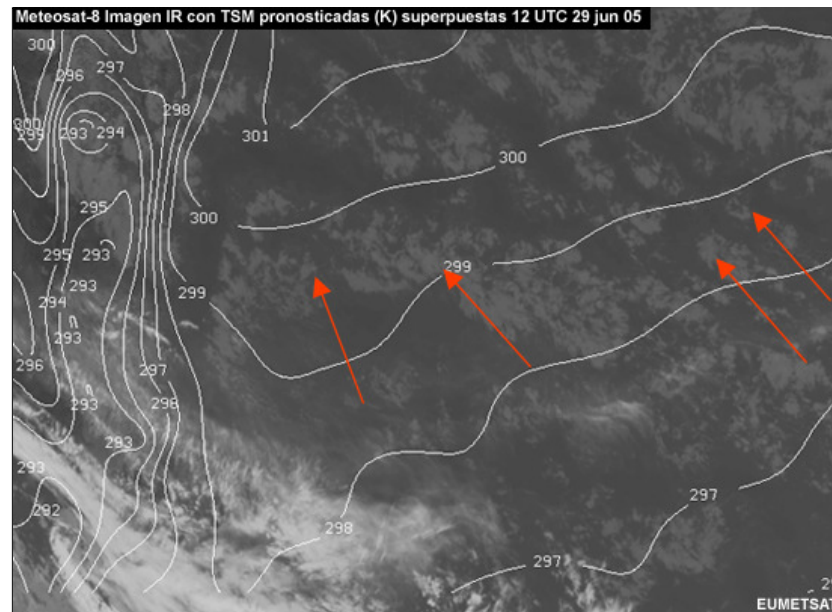


La máscara de nubes, que fue generada mediante la aplicación de un umbral de temperatura de 2 K calculado con mucho cuidado, parece reproducir bastante bien los patrones de nubes.



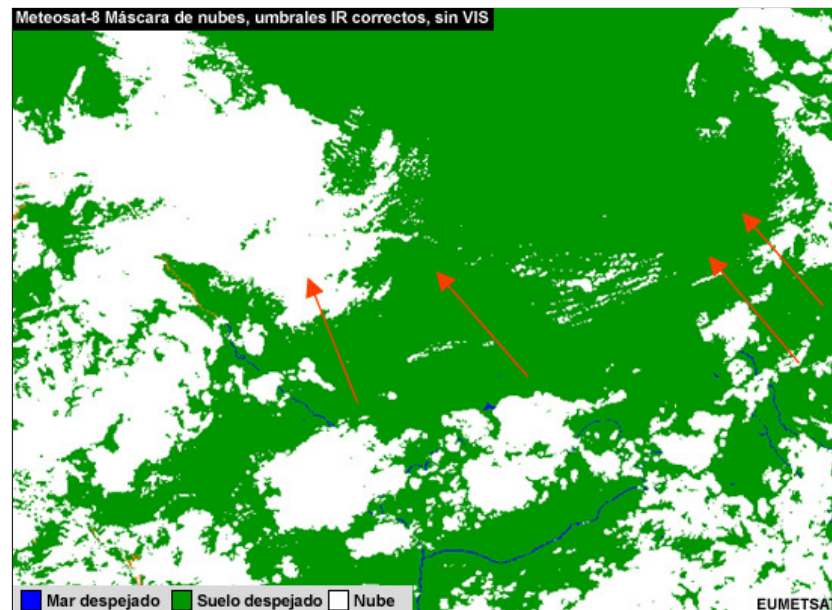


Esta imagen lleva superpuestas las temperaturas de brillo infrarrojas simuladas por el modelo de transferencia radiativa para este caso, que se usan en la umbralización de infrarrojos. Ciertas secciones de la imagen son mucho más frías (más brillantes) debido a la presencia de nubes.

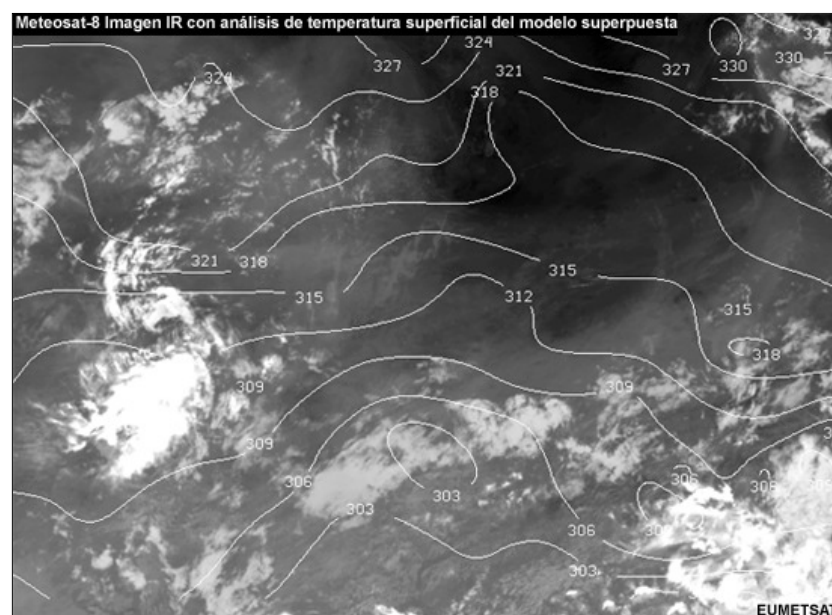


#### 4.7 Máscara de nubes basada en IR sobre tierra firme

El principio de la detección de nubes basada en infrarrojos sobre tierra firme es muy similar al que se emplea sobre el océano. Lo único que hace falta cambiar es el valor de umbral, porque debido a la mayor variación espacial y temporal de las temperaturas de la capa superficial en tierra firme, es posible que los modelos de predicción numérica del tiempo no puedan representarlas o pronosticarlas con el mismo grado de exactitud. Debido a esta complejidad adicional, los umbrales sobre tierra firme se pueden establecer en valores más altos que para el océano, lo cual produce la detección fallida de parte de la capa nubosa.



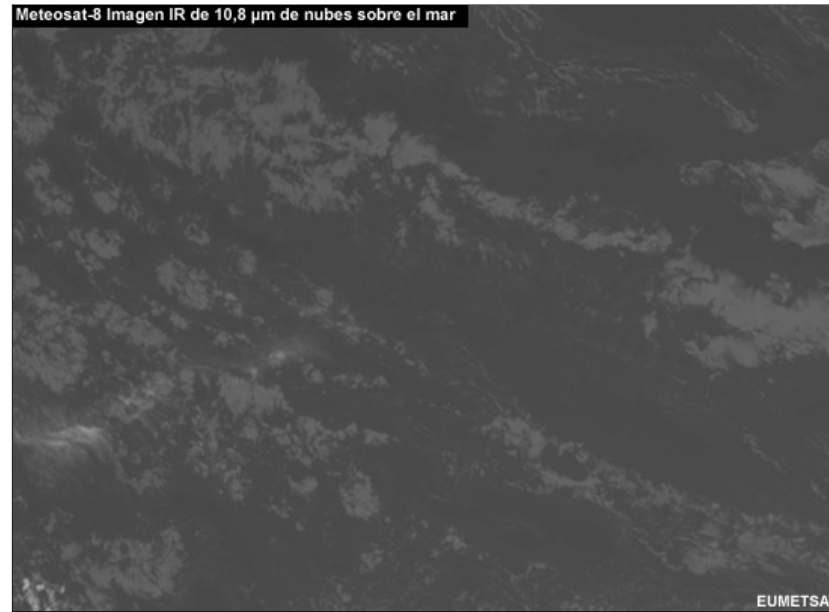
En esta escena de África central tomada a mediodía, el aire tropical muy húmedo en el sur contrasta con la región más seca del Sahara en la parte del norte de la imagen. En términos visuales, es muy difícil diferenciar la nubes bajas y los cirros delgados de las regiones circundantes sin nubes, porque el canal infrarrojo es sensible a la presencia de la abundante humedad en los niveles bajos.



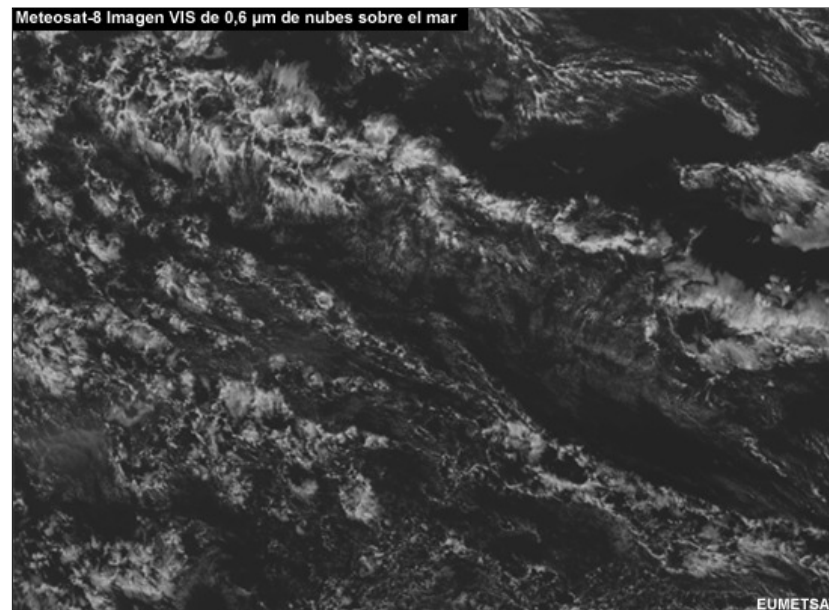
La humedad en los niveles bajos absorbe parte de la radiación de la superficie en la longitud de onda de 10,8 micrómetros y vuelve a emitir la radiación a una temperatura más fría, creando así la impresión de que la superficie es más fría de lo que cabe esperar. Las representaciones exactas de la masa de aire húmedo por los modelos de pronóstico son particularmente inestimables en este tipo de situación, ya que generan las condiciones atmosféricas que el modelo de transferencia radiativa necesita para simular con exactitud las temperaturas de brillo que observaría el satélite.

#### 4.8 Realce de imágenes IR con datos VIS

Como hemos visto, la identificación de las nubes en el infrarrojo es un proceso bastante sencillo, siempre y cuando las estructuras nubosas tengan un aspecto más frío que la temperatura esperada para una superficie terrestre o marina despejada.

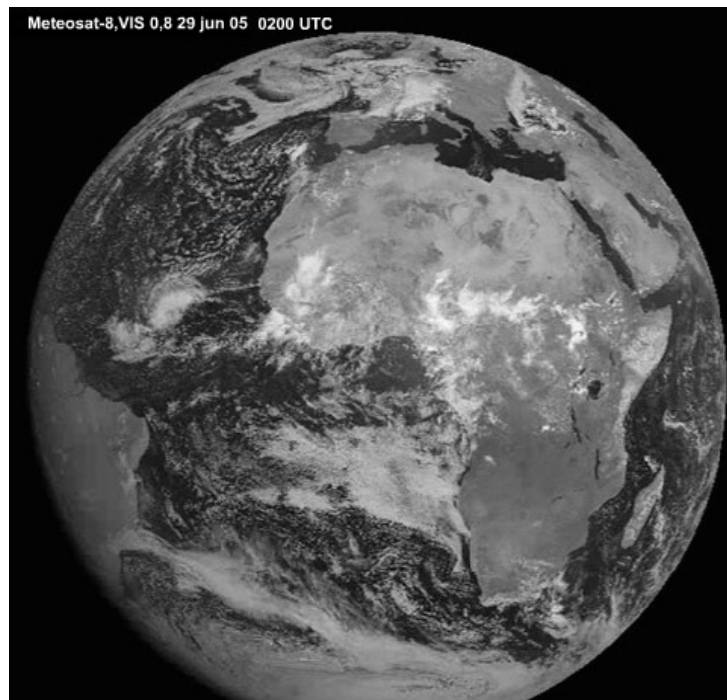


Podemos agregar datos visibles para identificar las nubes como estructuras más brillantes de lo que serían en una imagen despejada, lo cual nos brinda una técnica complementaria para el método infrarrojo en las áreas problemáticas.



A la hora de distinguir las nubes del suelo en los datos visibles, el reto principal consiste en cuantificar el nivel apropiado de brillo en el visible para una escena despejada. El nivel de brillo o reflectancia real de la superficie depende del tipo de superficie y de la iluminación solar en el momento, que cambia de acuerdo con la hora del día y la estación del año.

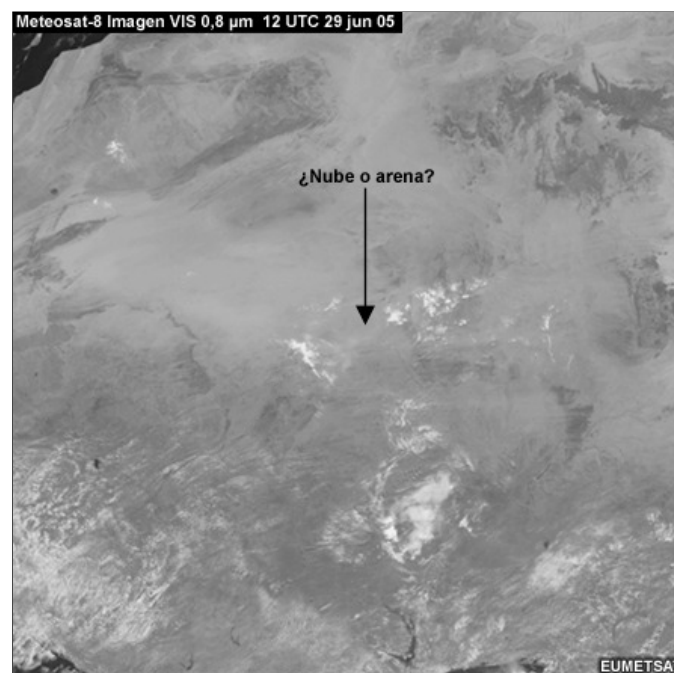
La reflectancia esperada se puede inferir fácilmente para las superficies acuáticas, cuya reflectancia por lo general es muy baja, excepto bajo condiciones de destello solar, y es fácil de predecir para cualquier geometría de observación Sol-satélite.



EUMETSAT

[\(Ver la animación\)](#)

La situación es más complicada sobre tierra firme debido a la variabilidad de la reflectancia del suelo, que incluye el destello solar sobre ríos y lagos y las diferentes superficies terrestres, tales como arena en el desierto, sal y ciertos tipos de roca que pueden alcanzar un nivel de brillo casi tan alto una capa de nubes.

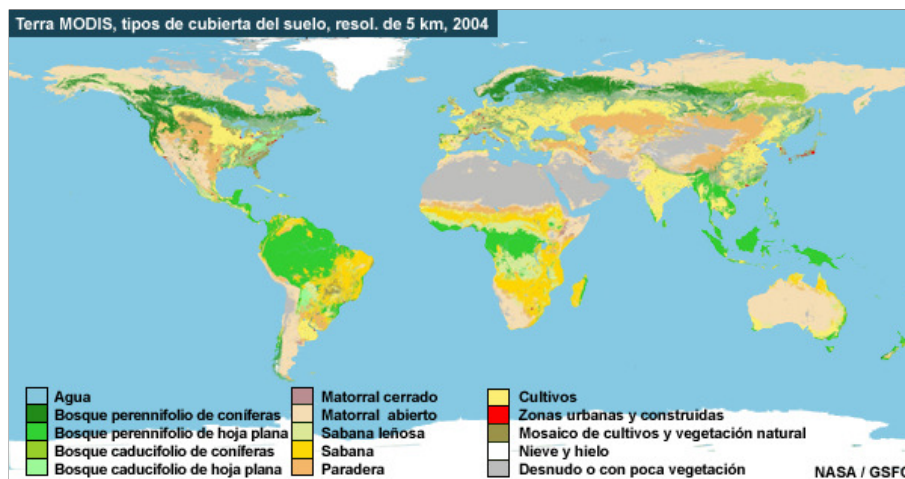


EUMETSAT



#### 4.9 Uso de datos climáticos para cielo despejado en imágenes VIS

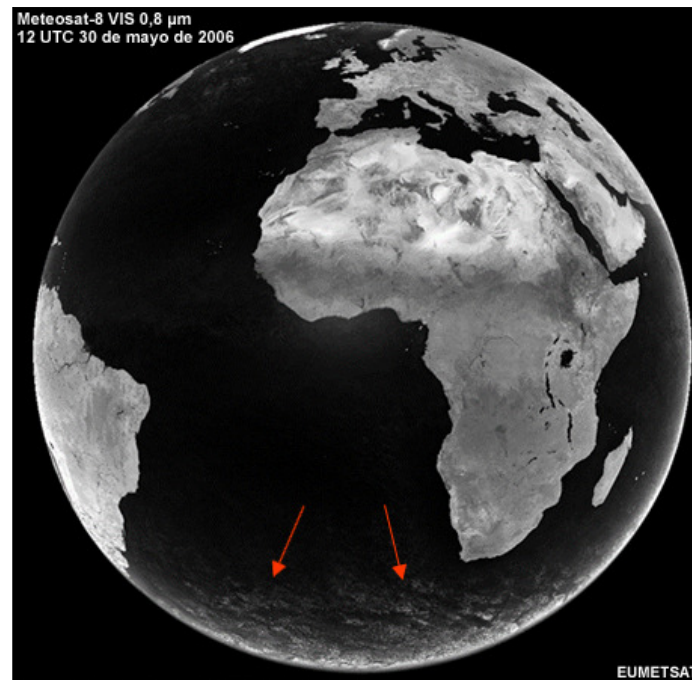
Podemos compensar estos problemas si utilizamos conjuntos de datos climatológicos (por ejemplo, un mapa de tipos de cubierta del suelo) como datos de fondo y luego asignamos reflectancias visibles medias a los distintos tipos de cubierta del suelo.



#### 4.10 Uso de datos satelitales para cielo despejado en imágenes VIS

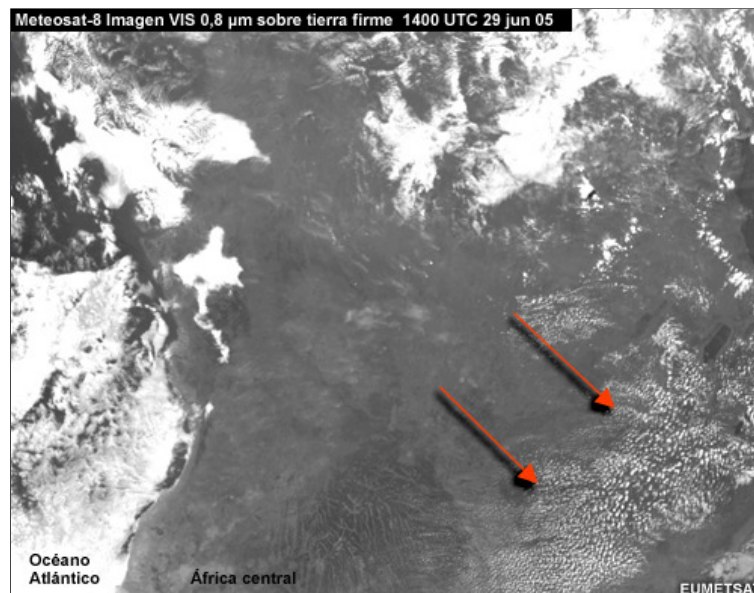
Otra opción para generar un fondo visible despejado consiste en usar los datos satelitales como punto de partida. Un filtrado cuidadoso de los datos recogidos sobre un lugar específico a lo largo de cierto período producirá una imagen visible sin nubes que luego se puede utilizar como información de superficie en el fondo.

Esta imagen muestra la reflectancia de superficie del canal visible de 0,8 micrómetros de Meteosat para las 1200 UTC como valor de filtro para el mes de mayo de 2006. Cada píxel representa un promedio de todas las observaciones sin nubes identificadas durante ese período.

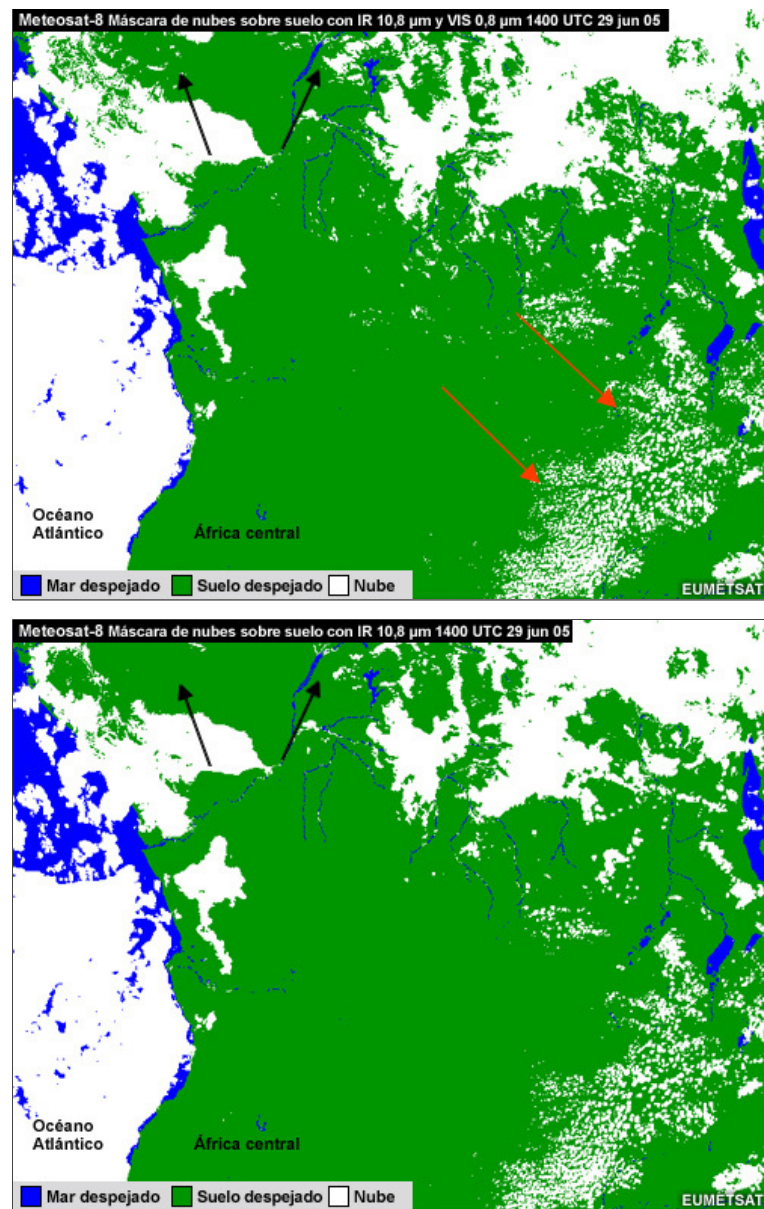


Son evidentes las estructuras no homogéneas en la región del sur de la imagen. Los patrones blancos discontinuos similares a nubes son el producto de áreas que quedaron nubladas prácticamente todo el mes y, lo que es más importante, que experimentaron muy poca iluminación solar, como es normal en esa época del año.

La mayor resolución espacial del canal visible de Meteosat Segunda Generación (MSG) también contribuye a mejorar la detección de nubes, especialmente de las nubes cumuliformes pequeñas.

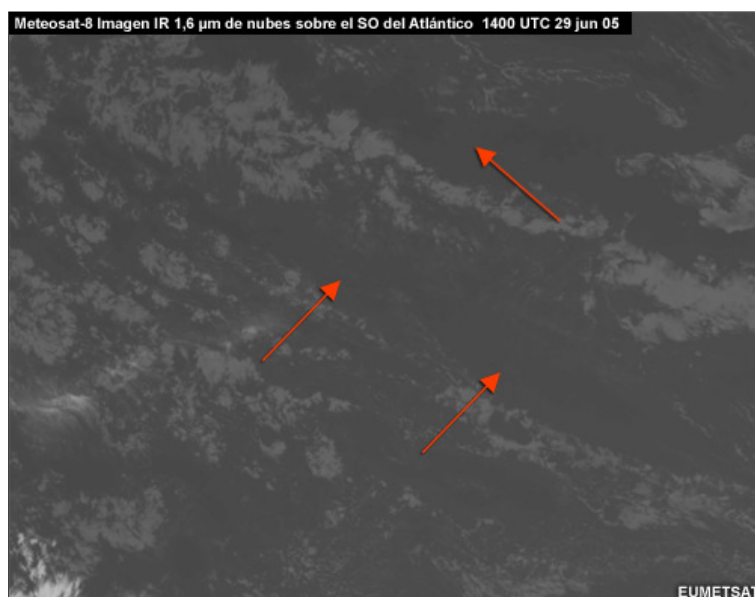


Observe la mayor cantidad de nubes detectadas en la máscara de nubes infrarroja y visible (primera imagen) en comparación con la máscara sólo infrarroja (segunda imagen).

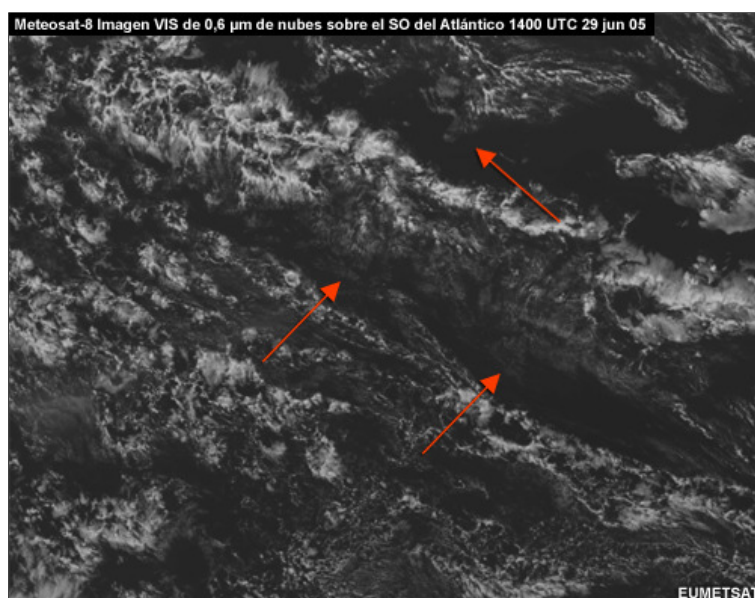


#### 4.11 Ejemplo sobre el océano

Consideremos ahora un ejemplo sobre el océano. Las nubes bajas que vemos en esta imagen infrarroja parecen tener una temperatura similar a la superficie del mar subyacente, lo cual significa que posiblemente la técnica de umbralización no detecte la totalidad de la cubierta nubosa.

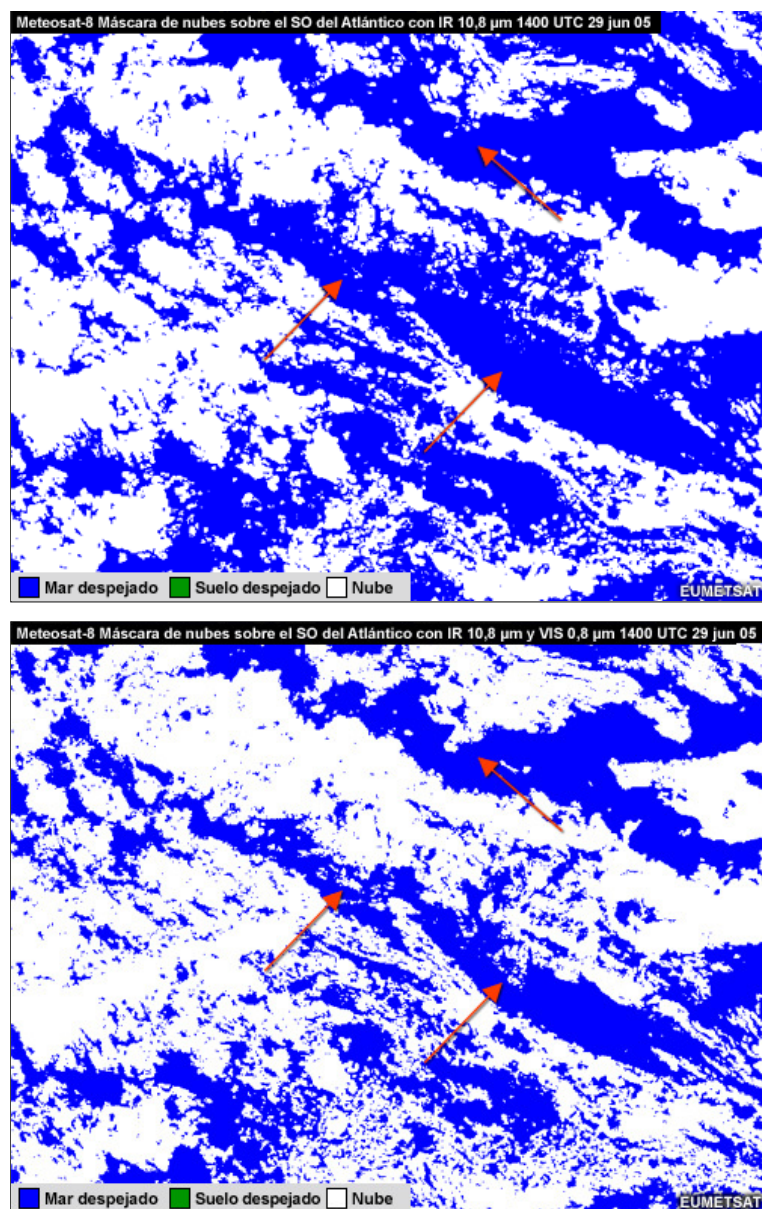


Observe como en la imagen visible correspondiente las nubes se destacan sobre el fondo oscuro del océano.

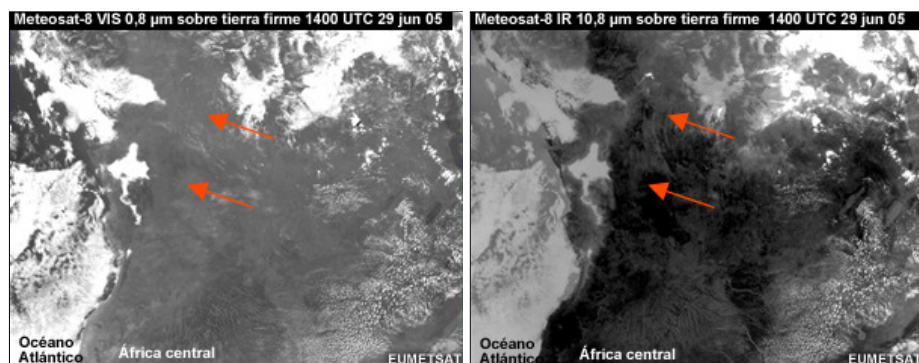


Si comparamos las máscara de nubes basadas en infrarrojos e infrarrojos/visible, vemos que la adición de los datos visibles ha generado una mejora significativa en la detección de la cubierta nubosa.



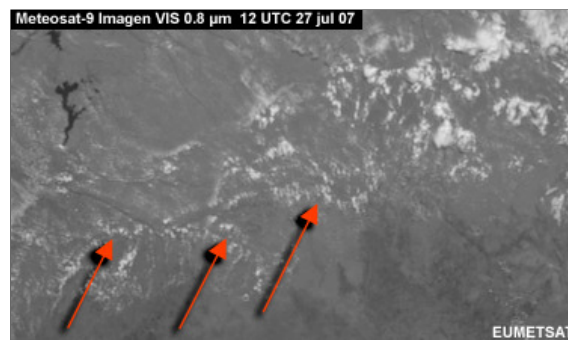


Los dos ejemplos anteriores demuestran que el uso de datos visibles tiene un impacto mayor sobre el océano que sobre tierra firme. Durante el día, la superficie caliente sobre tierra firme suele producir un mayor contraste con las temperaturas más frías de la cima de las nubes, lo cual permite que la máscara de nubes infrarroja capture la mayoría de las estructuras nubosas.



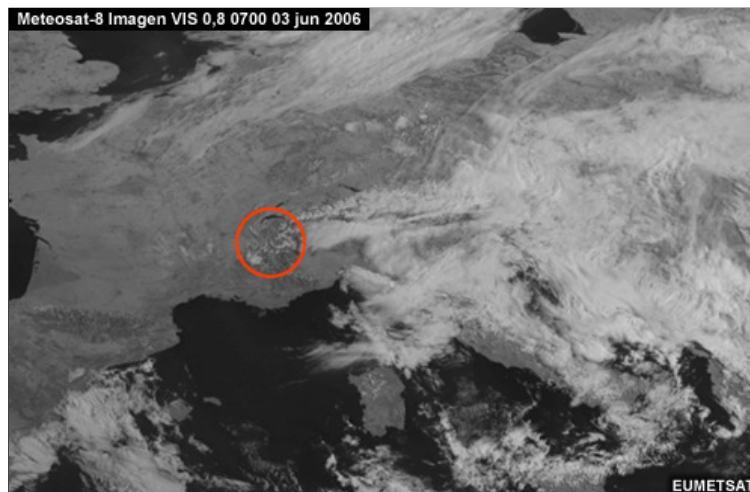
#### 4.12 Uso de análisis espaciales y temporales

Además de la técnica de umbralización, podemos usar otras técnicas e información, como los análisis espaciales, para mejorar la capacidad de detección de nubes. Las reflectancias en el visible y las temperaturas de brillo infrarrojas que muestran grandes diferencias sobre escalas pequeñas pueden ser una indicación de una escena con nubosidad dispersa.



El análisis temporal también puede ayudar en la detección de nubes con imágenes de satélites geoestacionarios, dados sus altos ciclos de repetición. Es más probable que los píxeles brillantes o fríos que permanecen relativamente estacionarios con el tiempo sean superficies cubiertas de nieve que nubes.

Examine esta imagen de los Alpes: ¿puede determinar si el círculo contiene cúmulos pequeños o campos de nieve estacionarios?



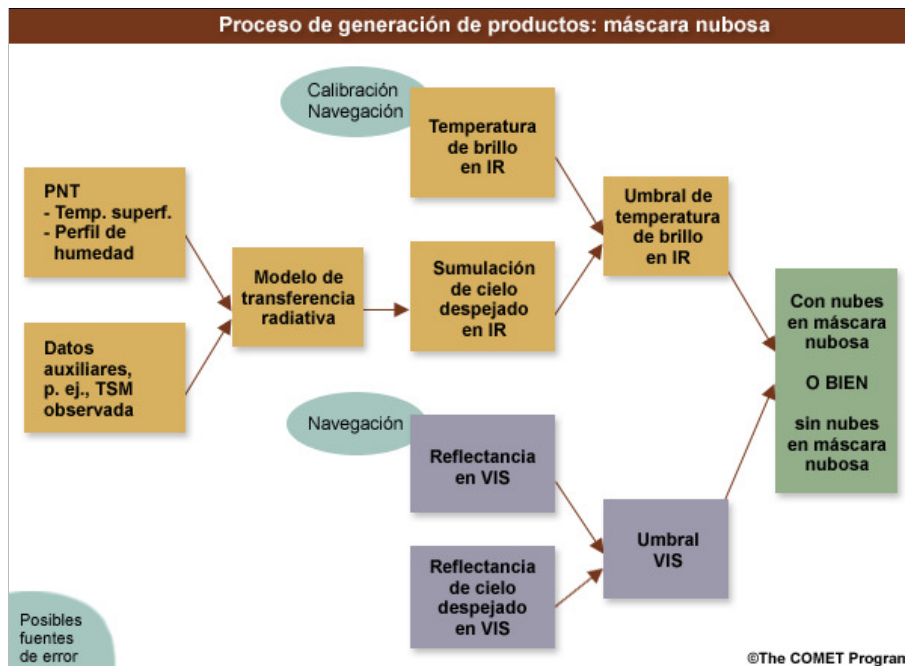
Ahora fíjese en esta [animación](#). En la serie temporal queda claro que se trata de campos de nieve.

## Sección 5: Fuentes de error en los productos finales

### 5.1 Exactitud de los datos satelitales

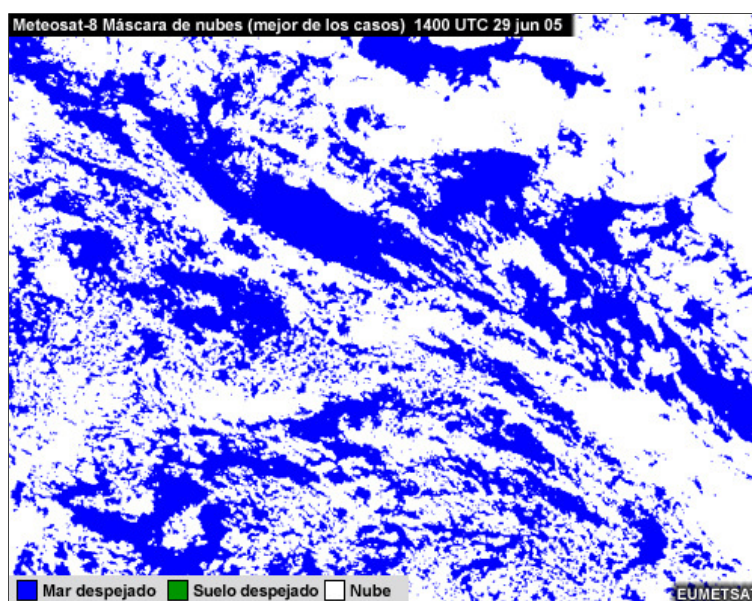
El producto máscara de nubes se basa en la combinación de observaciones satelitales, temperaturas de brillo infrarrojas simuladas para una superficie sin nubes y reflectancia en el visible de un fondo despejado.

Si bien por lo general esta estrategia produce buenos resultados, hay algunos aspectos que hay que cuidar para evitar la posibilidad de que se produzcan errores. En esta sección examinaremos varias fuentes de error, algunas de las cuales son específicas del proceso de recuperación del producto máscara de nubes, mientras que otros afectan todos los productos.

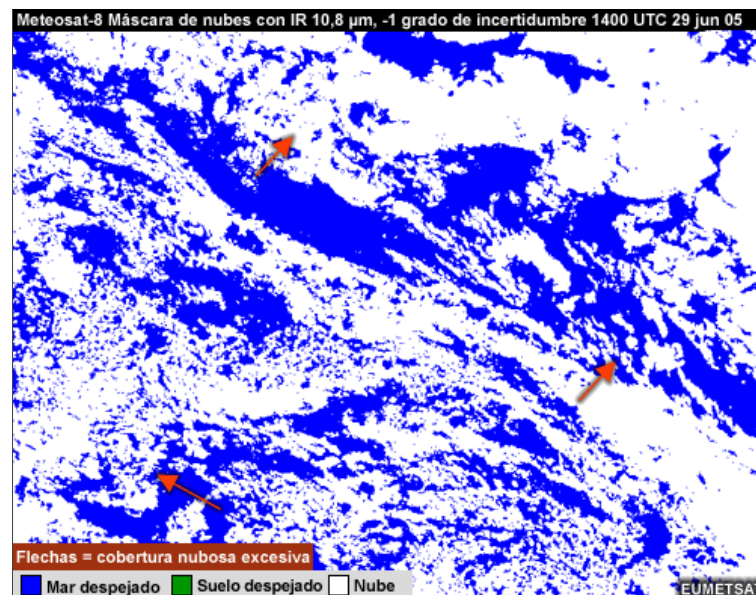


Los errores en los productos pueden ser resultado de imprecisiones en los datos satelitales causadas por diferentes factores, como, por ejemplo:

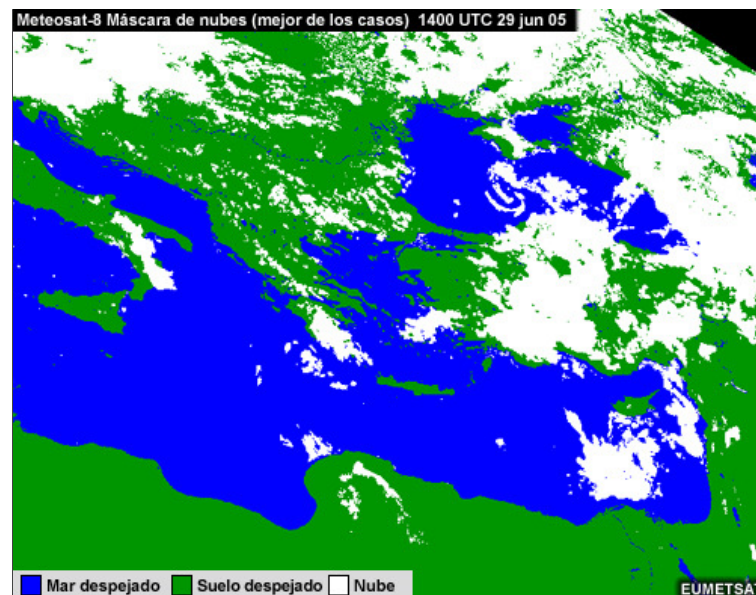
- **Errores de calibración, que afectan la exactitud de los valores de temperatura de brillo infrarrojo.** La primera imagen es una máscara de nubes basada en temperaturas de brillo infrarrojas calibradas correctamente, mientras que la segunda se basa en temperaturas de brillo que son demasiado frías a razón de 1 K. Aunque en este caso el efecto no es muy grande, la cobertura nubosa aparente en el producto máscara de nubes aumenta cuando las temperaturas de brillo son demasiado frías. Cuando las temperaturas de brillo son demasiado calientes, capturamos una menor parte de la cobertura nubosa de esperamos, porque suponemos que la mayoría de las nubes se ven más frías que la superficie subyacente. Si no se corrige este error durante el proceso de calibración, el producto se puede optimizar afinando el umbral de nubes en el infrarrojo.





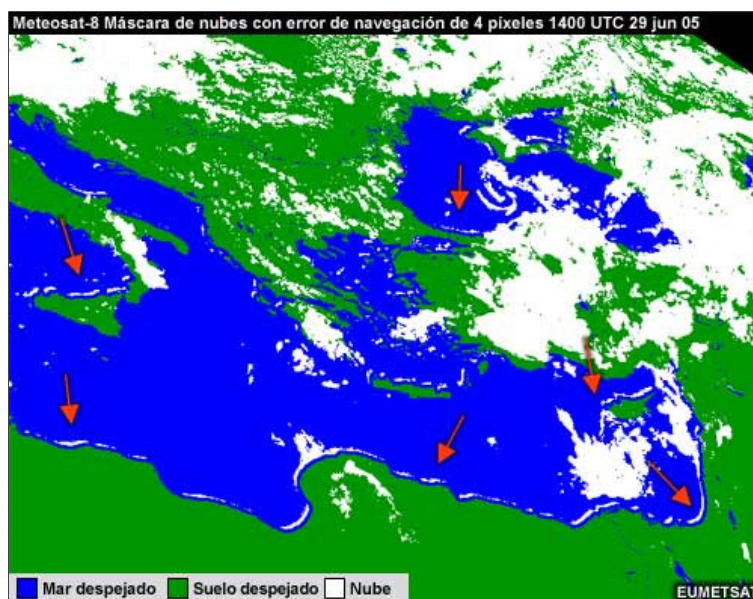


- **Problemas de navegación en las imágenes.** La navegación correcta se refiere a la asignación correcta de la ubicación geográfica de determinado píxel (su geolocalización). Todos los procesos de recuperación de productos que dependen de la caracterización de la superficie (tipo de superficie, tierra firme u océano, etc.) puede sentir los efectos adversos de incluso un pequeño error de navegación de píxeles. Esta imagen muestra una máscara de nubes correcta sobre el Mediterráneo oriental.

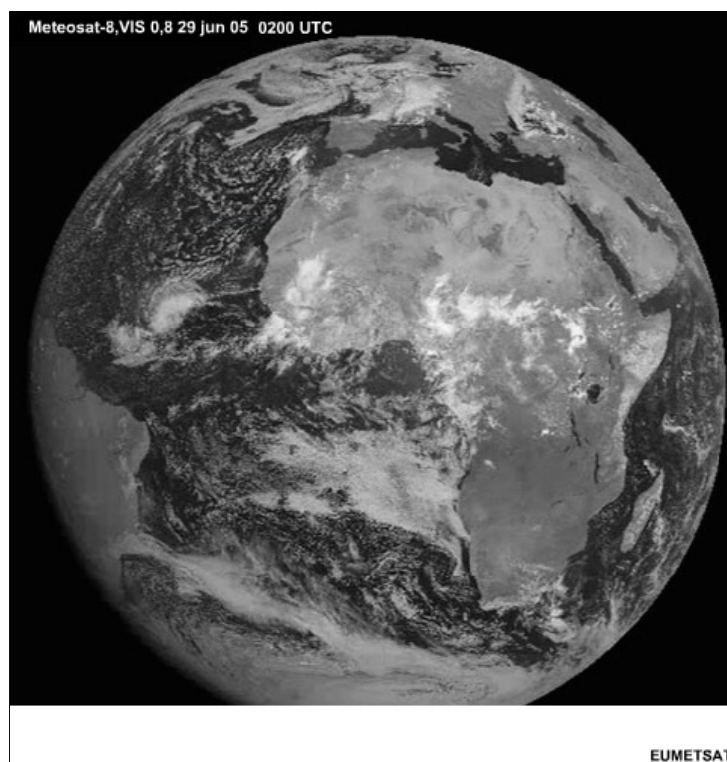




Este ejemplo contiene un error de navegación de aproximadamente 12 km. Observe la líneas delgadas de nubosidad poco realista que siguen el contorno de muchos de los litorales.

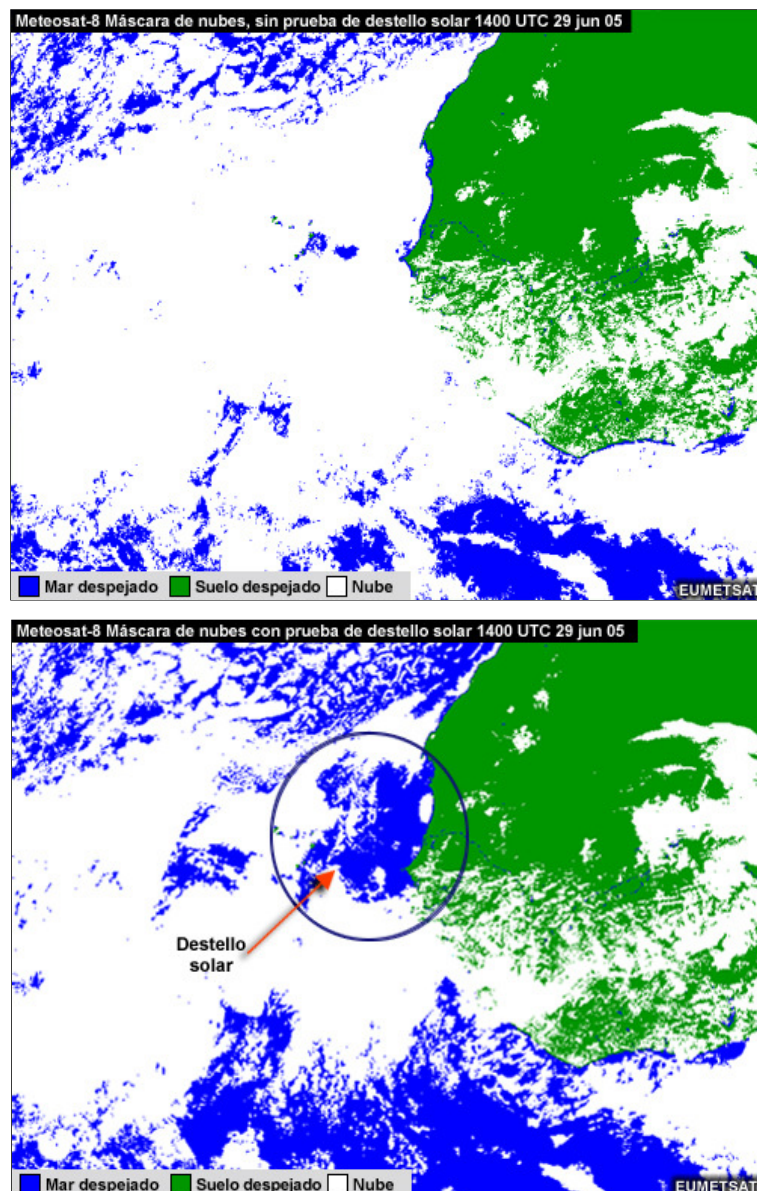


- **Destello solar en el rango espectral visible.** El destello solar ocurre cuando el instrumento del satélite observa la luz solar reflejada directamente por un cuerpo de agua. Si no tomamos en cuenta el destello solar, a menudo las superficies más brillantes de lo esperado se clasifican como cubierta nubosa.



[\(Ver la animación\)](#)

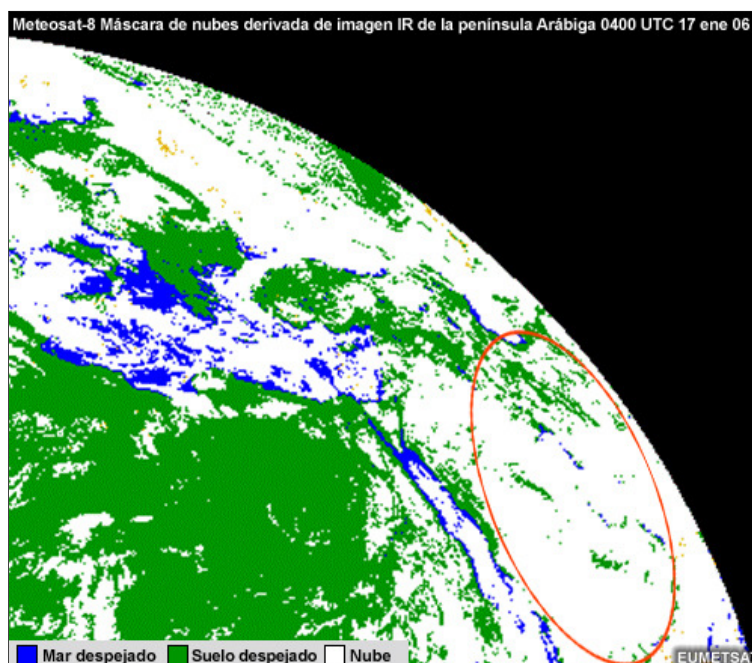
En este ejemplo, el océano junto a la costa africana parece estar casi completamente cubierto de nubes, pero en realidad la zona resaltada en la segunda imagen estaba bajo los efectos del destello solar.



## 5.2 Proceso de recuperación de productos

Los errores en los productos pueden también resultar de problemas y deficiencias inherentes al proceso de recuperación de datos, como imprecisiones e incertidumbres en el análisis meteorológico, los datos del pronóstico y otros conjuntos de datos auxiliares.

Como ya vimos, las temperaturas de la superficie terrestre y del mar generadas por los modelos de PNT son datos de entrada esenciales para derivar una máscara de nubes. La representación incorrecta del ciclo diurno tiene un impacto directo en la calidad de los productos. Este ejemplo muestra las regiones desérticas del Oriente Medio justo antes del amanecer, cuando la superficie terrestre es más fría.



A menudo, las máscaras de nubes obtenidas de un satélite geoestacionario exhiben un patrón de nubes falso durante las horas de la noche y temprano por la mañana debido a un sesgo en la temperatura de superficie del modelo hacia temperaturas altas. El producto se podría mejorar utilizando un ciclo diurno de temperaturas de la superficie terrestre más realista en los cálculos de transferencia radiativa.

Otra fuente de error tiene que ver con las nubes bajas que pueden aparecer más cálidas que la superficie subyacente. Esto puede suceder cuando existe una inversión de temperatura en los niveles bajos, por la noche y durante el invierno en regiones de latitudes medias y altas.

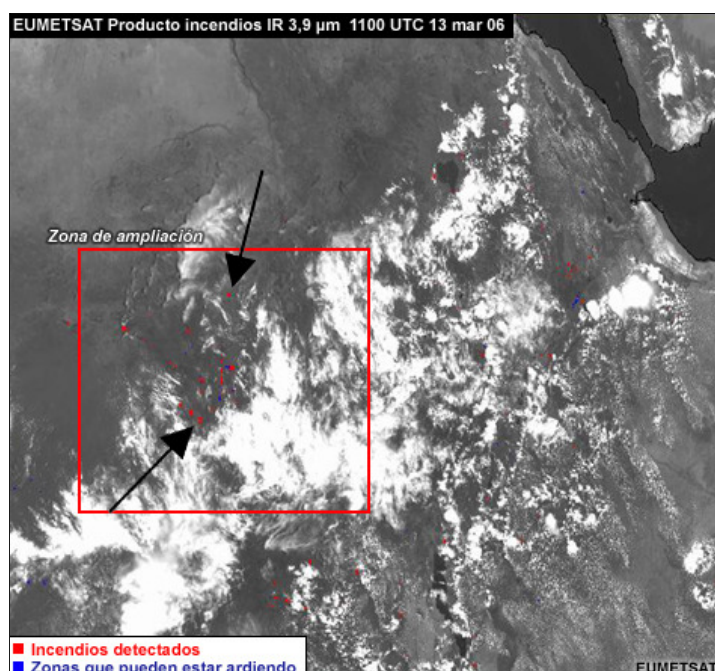


## Sección 6: Otros productos generados con técnicas de umbralización

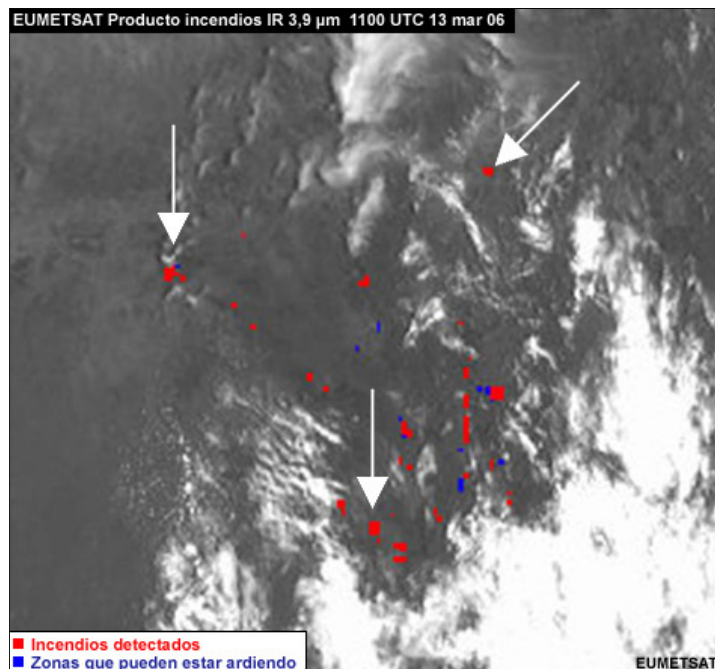
### 6.1 Detección de incendios descontrolados

La técnica de umbralización de canales que describimos para el producto máscara de nubes se utiliza también con otros tipos de identificación de escenas.

La detección de incendios descontrolados activos se logra mediante la combinación de las temperaturas de brillo observadas en la región de ventana infrarroja alrededor de 11 micrómetros y la región de ventana infrarroja de onda corta próxima a 3,8 micrómetros, que es muy sensible a los puntos calientes dentro de un píxel.

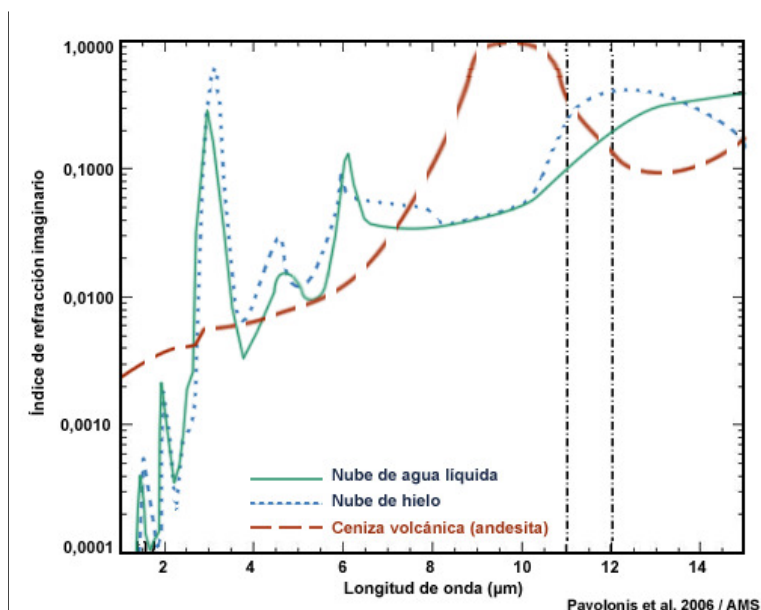


Para aislar los puntos calientes y los incendios, primero se diferencian los dos canales y luego se resaltan los píxeles cuyos valores de diferencia exceden un umbral predefinido que establece una alta probabilidad de incendio.



## 6.2 Detección de plumas de ceniza volcánica

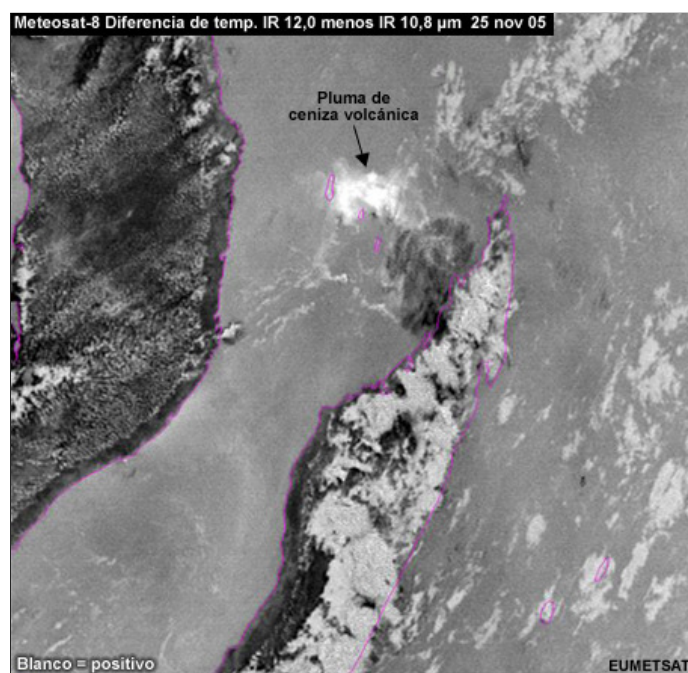
La detección de plumas de ceniza volcánica también se apoya en una técnica de umbralización de canales.



La firma espectral de la ceniza volcánica dentro de la región de ventana infrarroja de 10 a 12 micrómetros difiere de la firma espectral de las nubes de agua y de hielo, y eso nos permite detectar fácilmente las plumas de ceniza volcánica.

Podemos utilizar la técnica de umbralización para resaltar y separar las diferencias de temperatura de brillo típicas de las plumas de ceniza volcánica de las temperaturas de brillo que normalmente producen las nubes de agua y de hielo, y las estructuras del suelo.

Este ejemplo muestra el resultado de la diferenciación de canales en términos de un producto visual.



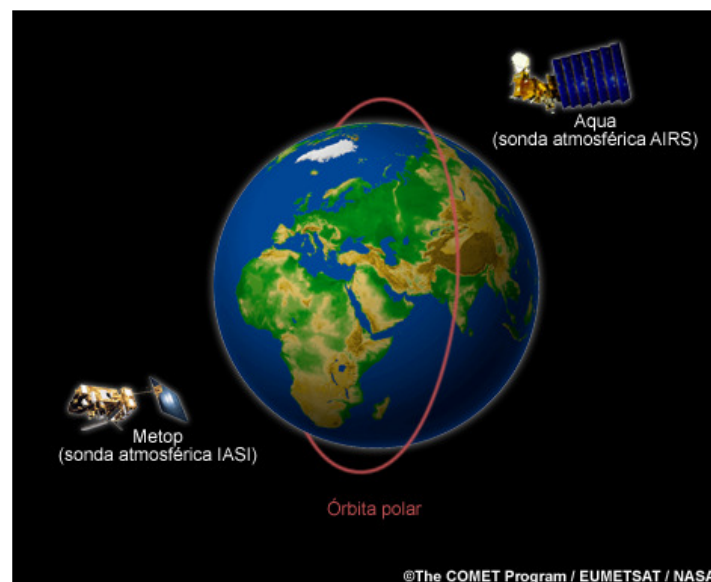


## Sección 7: Beneficios de los datos espectrales adicionales

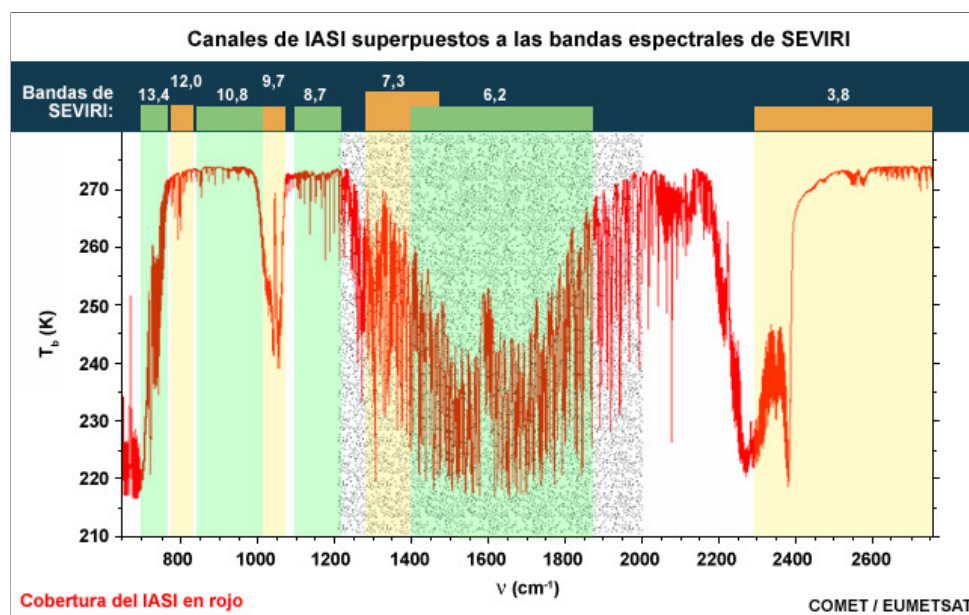
### 7.1 Datos hiperspectrales

Varios instrumentos satelitales modernos se han alejado de los generadores de imágenes y las sondas atmosféricas tradicionales para implementar instrumentos hiperspectrales que cuentan con miles de canales. A diferencia de los instrumentos de generación de imágenes más tradicionales, que promedian la radiancia entrante sobre una banda o un intervalo espectral bastante amplio, los datos hiperspectrales ofrecen una resolución espectral mucho más fina.

Los instrumentos hiperspectrales más importantes son la sonda atmosférica infrarroja avanzada (*Advanced InfraRed Sounder*, AIRS) a bordo del satélite EOS Aqua, que muestrea el espectro infrarrojo en 2378 canales, y el interferómetro de infrarrojos para sondeos atmosféricos (*Infrared Atmospheric Sounding Interferometer*, IASI) a bordo de Metop, que muestrea 8461 canales.

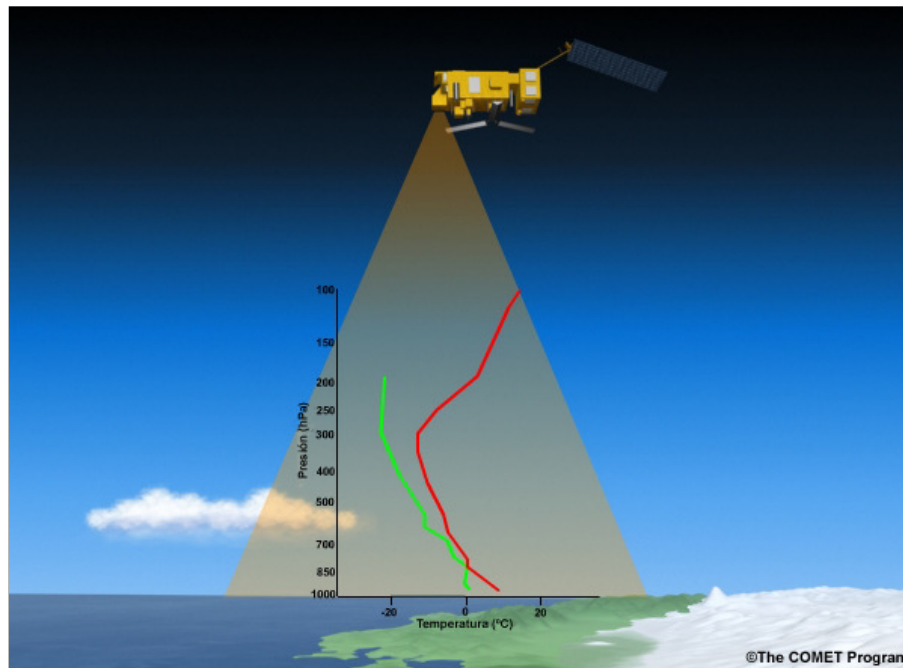


La gráfica siguiente permite comparar el espectro atmosférico típico medido por el instrumento IASI (las líneas rojas) con el de un filtro mucho más ancho como el del generador de imágenes giratorio avanzado en el visible e infrarrojo (*Spinning Enhanced Visible and Infra Red Imager*, SEVIRI) de MSG (las bandas anchas de color verde y amarillo) para ver la gran cantidad de información espectral detallada detectada por el instrumento IASI que se promedia en las mediciones de SEVIRI.

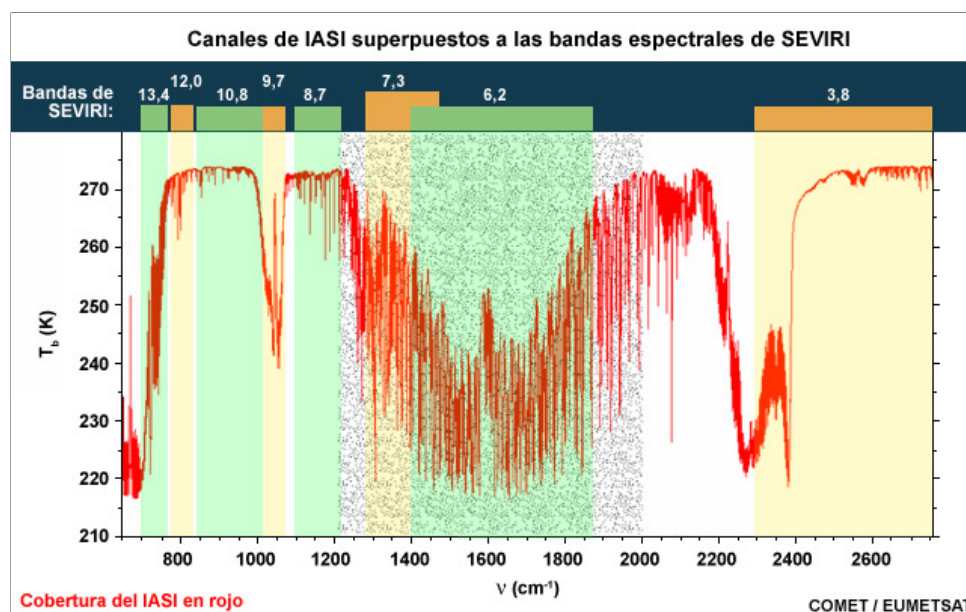


## 7.2 Perfiles atmosféricos

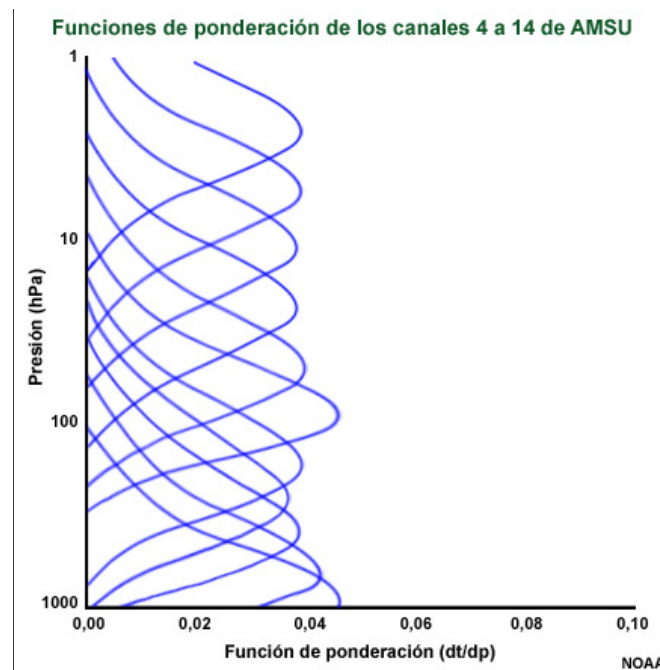
En la actualidad, la generación de perfiles de temperatura y gases atmosféricos (como el vapor de agua) representa la implementación operativa más común de los datos hiperspectrales obtenidos por los satélites meteorológicos.



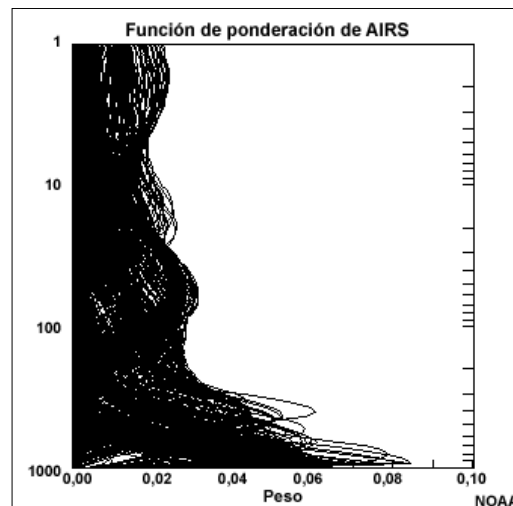
En comparación con las sondas atmosféricas tradicionales, el mayor número de canales de resolución espectral más alta de las sondas atmosféricas hiperspectrales puede resolver mejor la estructura vertical de temperatura y humedad. Esto permite detectar más capas atmosféricas en niveles discretos, es decir, capas con cantidades menores de superposición.



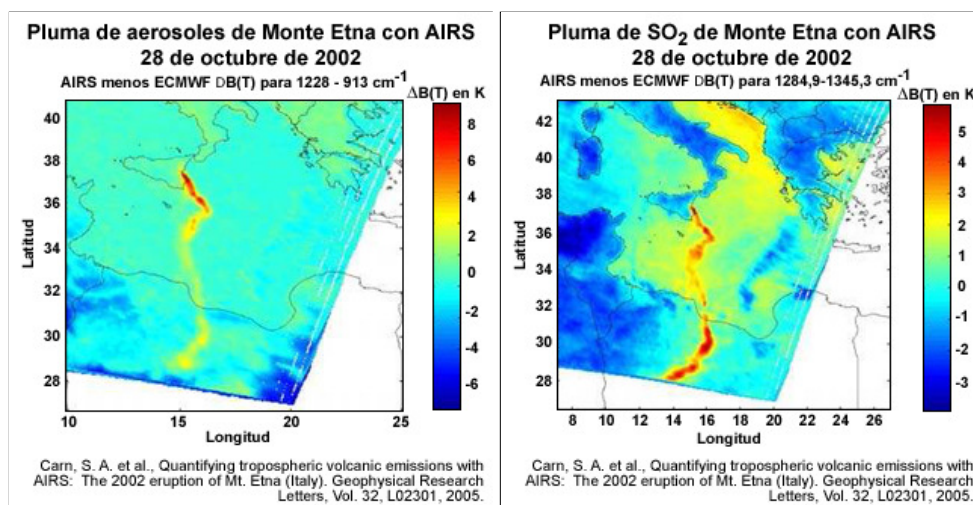
Esta gráfica muestra las funciones de ponderación de la unidad avanzada de sondeo por microondas (*Advanced Microwave Sounding Unit*, AMSU), que son relativamente anchas y se superponen una a otra. Recuerde que una función de ponderación define las contribuciones relativas a la radiancia saliente de varios niveles de la atmósfera y, por tanto, determina la capa atmosférica detectada por un determinado canal espectral.



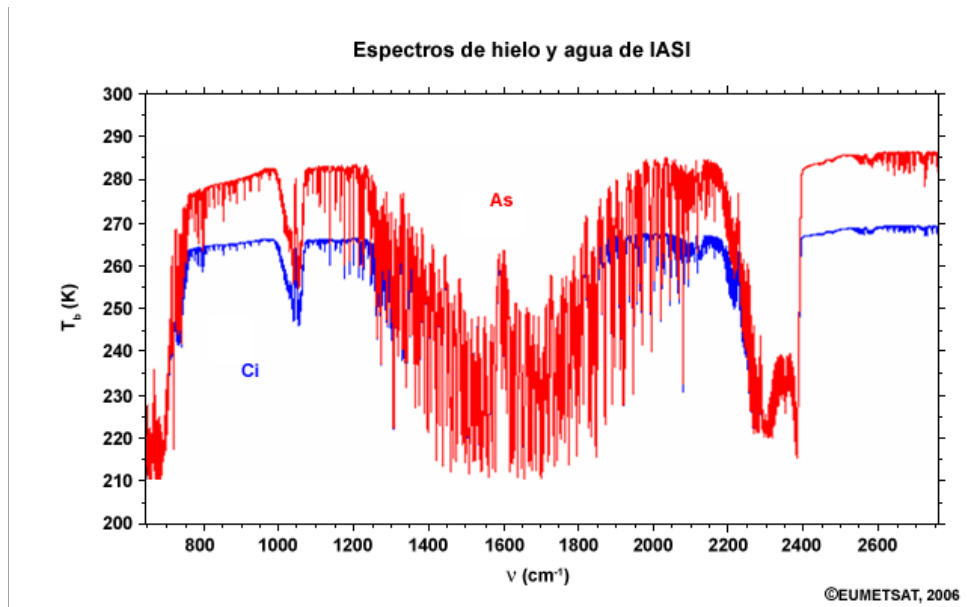
Los miles de canales disponibles en las modernas sondas atmosféricas hiperspectrales, ahora obtenemos una multitud de funciones de ponderación, lo cual significa que la atmósfera se estudia a través de un mayor número de capas más finas y esto, a su vez, permite lograr resoluciones verticales más altas.



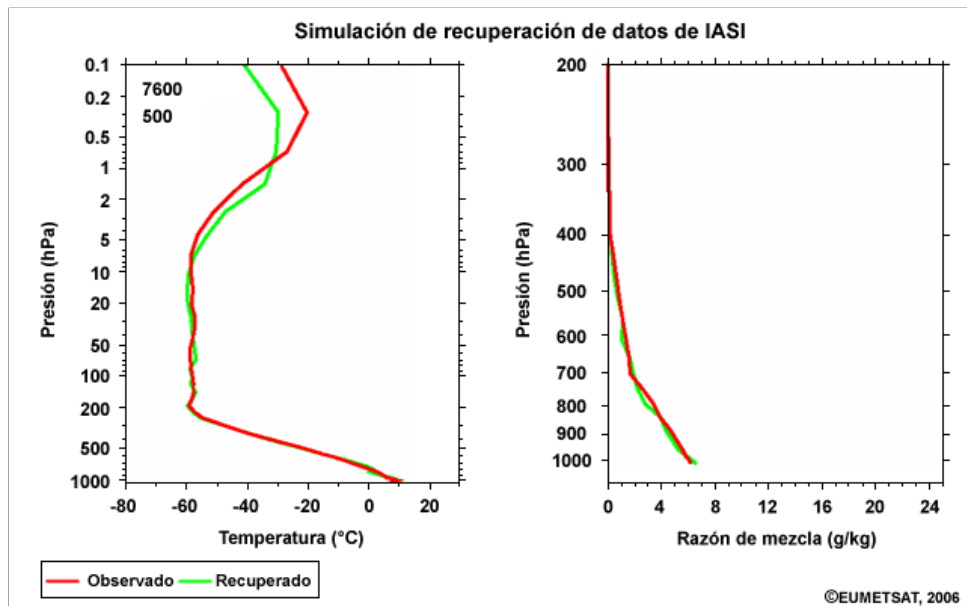
Se necesitan estrategias de procesamiento de datos más avanzadas y modelos de transferencia radiativa más detallados para convertir la información espectral adicional en productos útiles, como los gases traza, la caracterización de aerosoles,



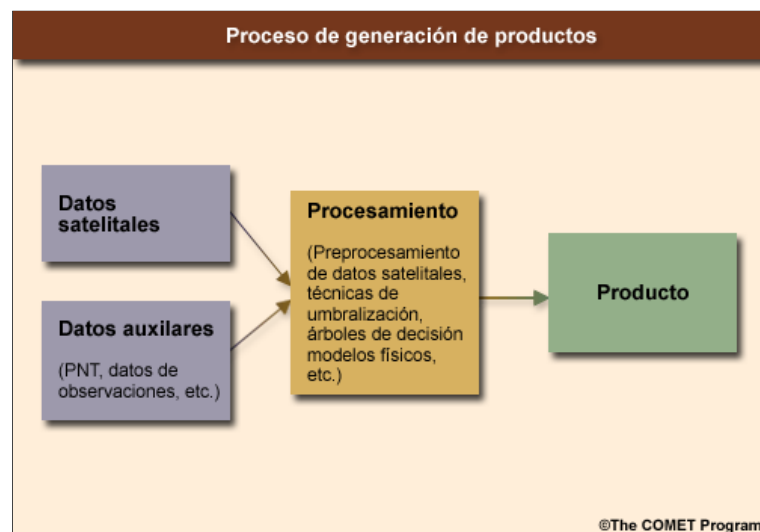
la detección y caracterización de nubes (fase y distribución de tamaños de partículas),



y perfiles de temperatura y humedad de mayor resolución.



Observe que la información más detallada de los instrumentos hiperspectrales nos permite derivar más información basada en la observación satelital directa. También reduce nuestra dependencia de los datos auxiliares, como las aproximaciones de los modelos, cuyos errores contribuyen a la incertidumbre de los productos derivados.





## Sección 8: Resumen

### 8.1 Resumen

Los productos proporcionan descripciones detalladas de varias estructuras atmosféricas, oceánicas y terrestres.

Beneficios de los productos satelitales:

- se centran en un único parámetro de interés para una comunidad de usuarios particular.
- los productos relativamente "simples" destacan ciertas propiedades específicas y están pensados para la interpretación visual.
- los productos más avanzados cuantifican propiedades físicas y producen parámetros con valores cuantificados
- los productos "de punta" aprovechan la vasta gama de datos que generan los miles de canales de los instrumentos de sondeo hiperspectrales a bordo de los satélites.
- el proceso de generación de productos puede ser automático y objetivo, sin depender de los conocimientos o la habilidad de ningún usuario en particular.
- a menudo los productos incorporan índices de calidad, marcadores de errores o estimaciones de error, todos datos que pueden resultar útiles a la hora de generar un pronóstico en una situación compleja y esenciales para asimilar los datos en un modelo de predicción numérica del tiempo (PNT).

Los productos relativamente "simples":

- son relativamente fáciles de producir.
- se derivan directamente de los datos de la imagen original mediante la aplicación de técnicas básicas de manipulación de imágenes, como la diferenciación de canales y composición con colores RGB. Estas tareas se pueden realizar con varios programas de procesamiento de fotografías o de imágenes de uso común.
- resaltan propiedades específicas.
- están pensados para la interpretación visual.

Los productos más avanzados y "de punta":

- requieren técnicas y métodos de recuperación más avanzados que permitan manipular una variedad de datos de entrada que a menudo provienen de otras fuentes aparte de los satélites meteorológicos, como los modelos de predicción numérica del tiempo, los modelos físicos (por ejemplo, los modelos de transferencia radiativa), las observaciones in situ y los conjuntos de datos climatológicos.
- los datos de entrada requieren métodos de recuperación más avanzados y las herramientas que permitan manipularlos, como técnicas de umbralización, árboles de decisión, algoritmos estadísticos y modelos físicos.

Los productos máscara de nubes de Meteosat:

- indican si cada píxel contiene nubes o está "despejado".
- constituyen la base de muchos otros productos.

La técnica de umbralización:

- detecta estructuras (grupos de píxeles) que son más frías de lo esperado para condiciones de cielo despejado en las imágenes infrarrojas y más brillantes de lo esperado para una región dada y condiciones de cielo despejado en las imágenes visibles.
- la selección del nivel de umbral (el valor que separa las partes nubladas de las partes despejadas en la escena) es producto de años de experiencia, pruebas y comparaciones de datos de imágenes.
- es posible que un determinado conjunto de umbrales sólo se aplique a un instrumento, una región o un conjunto de condiciones en particular.
- se emplea para generar máscaras de nubes y detectar incendios descontrolados activos, plumas de ceniza volcánica, etc.

Los modelos de transferencia radiativa:

- son una herramienta importante en muchas estrategias de recuperación de productos.
- simulan los procesos de transferencia radiativa de la atmósfera a una longitud de onda o una región espectral dada para un conjunto específico de condiciones de superficie y atmosféricas.
- se utilizan como herramienta para calcular una temperatura de brillo esperada para condiciones despejadas.
- el resultado del modelo de transferencia radiativa depende de la temperatura de superficie calculada por los modelos de PNT, los cuales a menudo no logran resolver con exactitud los largos ciclos diurnos de temperatura de la superficie terrestre.
- se pueden mejorar con datos de fondo de conjunto de datos climatológicos o de los mismos datos satelitales.

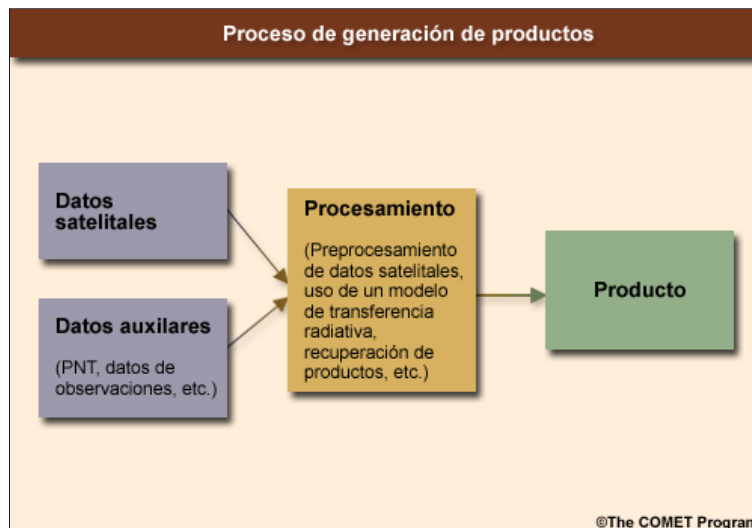
Las fuentes de error en los productos:

- son imprecisiones en los datos satelitales causadas por:
  - errores de calibración, que afectan la exactitud de los valores de temperatura de brillo calculados.
  - problemas de navegación en las imágenes, en los cuales la ubicación geográfica de determinado píxel (su geolocalización) se asigna incorrectamente.
  - destello solar en el rango espectral visible, que puede ocasionar la clasificación de las superficies del mar más brillantes de lo esperado como cubierta nubosa.
- problemas en el proceso de recuperación de datos causados por:
  - problemas y deficiencias inherentes al proceso de recuperación de datos, como imprecisiones e incertidumbres en el análisis meteorológico, los datos del pronóstico y otros conjuntos de datos auxiliares.

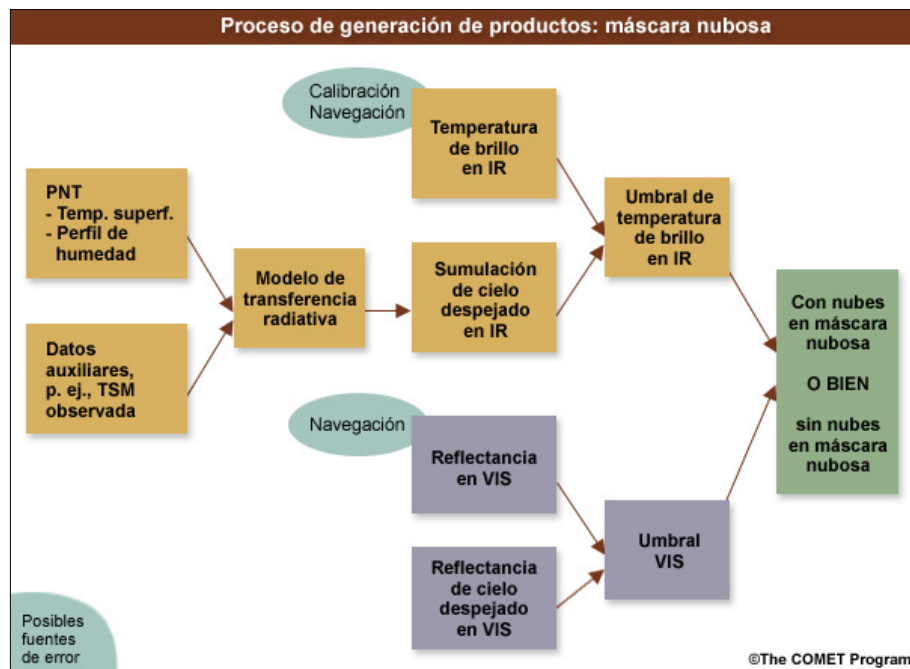
Los instrumentos hiperspectrales:

- cuentan con miles de canales con una resolución espectral mucho más fina.
- pueden detectar más capas atmosféricas en niveles discretos, es decir, capas con cantidades menores de superposición.
- la generación de perfiles de temperatura y gases atmosféricos (como el vapor de agua) representa la implementación operativa más común
- requieren estrategias de procesamiento de datos más avanzadas y modelos de transferencia radiativa más detallados.
- nos permiten derivar más información basada en la observación satelital directa y reducen nuestra dependencia de los datos auxiliares, cuyos errores contribuyen a la incertidumbre de los productos derivados.

### Proceso general de generación de productos meteorológicos



## Proceso para generar un producto máscara de nubes



¡Felicitaciones! Acaba de terminar de estudiar el módulo *Creación de productos meteorológicos a partir de datos satelitales*. 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 [encuesta](#) y envíenos sus observaciones acerca de este módulo.