

LA MISIÓN DEL AGUA DE LA ESA

SMOS

LAS MISIONES EARTH EXPLORER DE LA ESA

“Earth Explorers” (Exploradores de la Tierra) es una serie de misiones de exploración terrestre orientadas a los elementos científicos y de investigación del programa Living Planet (Planeta Vivo) de la ESA. Se ha desarrollado como respuesta directa a problemas detectados por la comunidad científica, y tiene por fin ampliar el conocimiento sobre los mecanismos que rigen la Tierra y sobre el impacto de la actividad humana en los procesos naturales del planeta. Earth Explorers también se ha concebido como demostración de tecnologías de vanguardia en técnicas de observación, que junto con los interrogantes científicos que intenta resolver, forman la base para el desarrollo de nuevas aplicaciones de tratamiento de datos de observación terrestre.

El enfoque a la hora de poner en marcha el programa Earth Explorer ha permitido seleccionar ya seis misiones:

GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer: Explorador del campo gravitatorio y la circulación oceánica) – Lanzado en marzo de 2009, GOCE está dedicado a la medición del campo gravitacional de la Tierra con una precisión y una resolución espacial sin precedentes. El modelo de geoide resultante, es decir, de la superficie de igual potencial gravitatorio definida por el campo de gravedad, ampliará nuestros conocimientos de la circulación de los océanos, los cambios del nivel del mar y los procesos internos de la Tierra. GOCE también aportará grandes avances a la geodesia y la topografía.

SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity: Humedad del suelo y salinidad marina) – SMOS realizará observaciones globales de la humedad del suelo y de la salinidad de la superficie de los océanos. Con dichos datos se profundizará en el conocimiento del ciclo del agua y, en particular, de los procesos de intercambio entre la superficie de la Tierra y la atmósfera. Los datos de SMOS permitirán mejorar los modelos meteorológicos y climatológicos, y tendrán también aplicación práctica en aspectos tales como la agricultura y la administración de los recursos hídricos.

CRYOSAT-2 – CryoSat-2 determinará las variaciones de grosor de las masas de hielo flotante, con el fin de detectar los cambios estacionales e interanuales. El satélite también observará la superficie de las capas heladas continentales, para detectar los pequeños cambios de elevación. La información sobre variaciones exactas del grosor del hielo permitirá un mayor conocimiento de la relación que existe entre el hielo y el cambio climático. CryoSat-2 sustituye a CryoSat, perdido por un fallo de lanzamiento en octubre de 2005.

SWARM – Swarm es una constelación de tres satélites que suministrarán mediciones de precisión y resolución elevadas de la intensidad y dirección del campo magnético de la Tierra. Los modelos del campo geomagnético obtenidos con la misión ofrecerán nuevas perspectivas del interior de la Tierra y de los procesos atmosféricos relacionados con el clima y la meteorología, y tendrán también aplicaciones prácticas en el conocimiento de la meteorología espacial y los riesgos de la radiación.

ADM-AEOLUS (Atmospheric Dynamics Mission: Misión sobre la dinámica atmosférica) – ADM-Aeolus será la primera misión espacial que medirá los perfiles del viento a escala mundial. Aumentará la precisión de la previsión meteorológica numérica y permitirá avanzar en el conocimiento de la dinámica atmosférica, así como de los procesos que inciden en la variabilidad del clima.

EARTHCARE (Earth, Clouds, Aerosols and Radiation Explorer: Explorador de la tierra, las nubes, los aerosoles y la radiación) – EarthCARE se está llevando a cabo en colaboración con la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency). La misión aportará mayores conocimientos sobre la interacción entre las nubes y los procesos radiativos y de aerosoles que influyen en la regulación climática.

Una producción de ESA
Communications

BR-278 Mayo de 2009
1ra edición en español

Ilustraciones de AOES Medialab

Precio: €10
ISSN: 0250-1589
ISBN: 978-92-9221-026-7
© 2009 European Space Agency



SMOS: LA MISIÓN DEL AGUA DE LA ESA

Índice

SMOS: misión sobre la humedad del suelo y la salinidad marina	2
El ciclo del agua: suelo húmedo y océanos salados	4
¿Por qué se miden la humedad y la salinidad?	6
Modo de actuación de la misión SMOS	8
El instrumento	10
El satélite	12
El ajuste de SMOS	14
Descripción general de SMOS	16

SMOS: misión sobre la humedad del suelo y la salinidad marina



Arroz inundado en Asia. Las tierras anegadas nutren una de las fuentes de alimentación más importantes del mundo. Dado que el arroz es una hierba semiacuática, es necesario anegar la tierra antes de iniciar el cultivo.

Escala con los distintos grados de humedad del suelo (arriba) y de salinidad del agua (abajo). La escala indica la variación de la humedad según el tipo de suelo, así como de la salinidad del agua, desde la que se encuentra en un manantial de montaña hasta la del Mar Muerto.



La cantidad de agua que retiene el suelo de la Tierra varía de manera constante. Que el grado de humedad del suelo esté determinado sobre todo por la evaporación y las precipitaciones no es una sorpresa. Una sequía prolongada, por ejemplo, puede provocar un suelo duro, seco y cuarteado, en tanto que las inundaciones y los corrimientos de tierra pueden ser consecuencia de lluvias muy intensas. Lo que tal vez resulte menos evidente es que algunas partes de los océanos de la Tierra son mucho más “saladas” que otras. Los cambios en la salinidad del agua marina superficial son provocados por la incorporación o eliminación de agua dulce, en su mayor parte a través de la evaporación y la precipitación, aunque también, en las regiones polares, por la congelación o el derretimiento del hielo.

La variabilidad de la humedad del suelo y de la salinidad de los océanos se debe al constante intercambio de agua entre los mares, la atmósfera y el suelo, es decir, al ciclo hidrológico de la Tierra. Sin embargo, a pesar de que dicho ciclo es uno de los procesos más importantes en nuestro planeta, puesto que sustenta la vida y controla el clima, sigue siendo un sistema fundamental del que se sabe relativamente poco.

Aunque el suelo sólo contiene un porcentaje mínimo del volumen de agua del planeta, la humedad del suelo desempeña un papel importante en el ciclo hidrológico. Actualmente, las mediciones de campo de la humedad del suelo son más bien escasas, pero si queremos entender mejor el ciclo del agua para mejorar las predicciones climáticas y meteorológicas,



necesitamos con urgencia contar con más cantidad de datos. Lo mismo sucede con la salinidad de la superficie marina, de la que prácticamente no existen datos de medición históricos, y sólo se obtienen muestras periódicas de una pequeña fracción del océano. La salinidad y la temperatura determinan la densidad del agua marina, que es, a su vez, un factor importante en el desplazamiento de las corrientes marinas. Éstas son cruciales para regular el clima, por ejemplo, al trasladar calor desde el ecuador a los polos. Disponer de más datos globales sobre la salinidad de los océanos permitiría entender mejor el ciclo del agua, y además ello influiría de manera extraordinaria en el conocimiento de las condiciones que determinan la circulación mundial de los océanos y, por lo tanto, el clima.

La misión SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), también conocida como Misión del Agua de la ESA, se ha concebido con el fin de observar la humedad del suelo en las masas continentales y la salinidad de la superficie los océanos durante un periodo de al menos tres años. Los datos obtenidos por SMOS permitirán crear mapas de humedad del suelo al menos cada tres días, y de la salinidad de los océanos al menos cada 30 días.

Un aspecto importante de la misión es que pondrá en práctica una técnica de medición totalmente novedosa. Se ha desarrollado un nuevo instrumento que observa la humedad del suelo y la salinidad de los mares al captar imágenes de la radiación de microondas emitida en torno a la frecuencia de 1,4 GHz o una longitud de onda de 21 cm (banda L). SMOS

transportará el primer radiómetro interferométrico en dos dimensiones para órbita polar que existe.

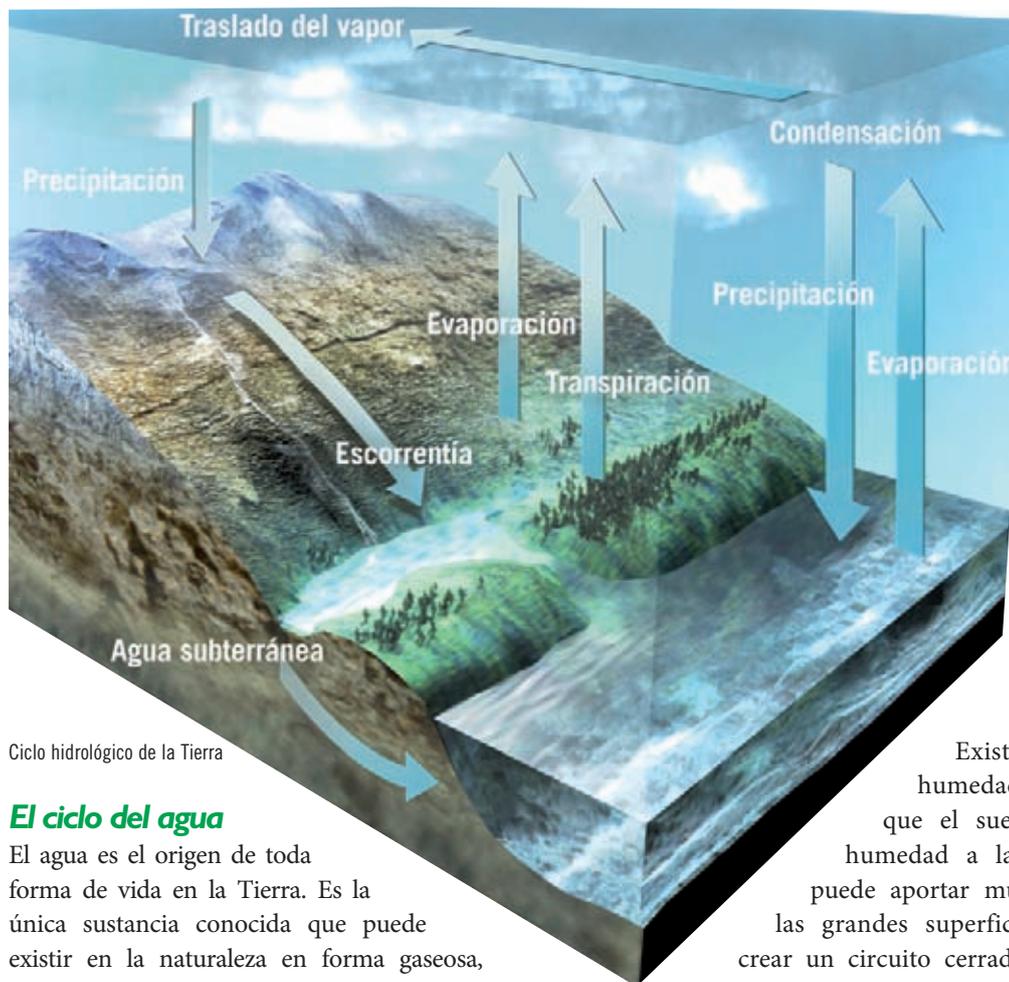
SMOS forma parte de una serie de misiones Earth Explorer de la ESA, desarrolladas como respuesta directa a los retos científicos identificados por la comunidad de investigadores. La misión SMOS es producto de la demanda de datos globales sobre humedad del suelo y salinidad de los océanos, una información que permitirá ampliar el conocimiento del ciclo hidrológico y del modo en que el cambio climático puede estar afectando a los patrones de evaporación en los mares y en la tierra. Los datos sobre la salinidad de las aguas superficiales permitirán avanzar en el conocimiento de la circulación de los océanos. Como objetivo secundario, SMOS podría llevar a cabo observaciones sobre regiones frías, contribuyendo así al estudio de la criosfera.



Salinas de la India. En estas salinas se puede apreciar el contenido de sal del agua marina. El agua, acumulada en estanques de poca profundidad, se deja evaporar para que, al hacerlo, deje un residuo de sal que posteriormente se recoge y refina.



El ciclo del agua: suelo húmedo y océanos salados



Ciclo hidrológico de la Tierra

El ciclo del agua

El agua es el origen de toda forma de vida en la Tierra. Es la única sustancia conocida que puede existir en la naturaleza en forma gaseosa, líquida y sólida dentro de los márgenes relativamente pequeños de temperatura y presión del aire que existen en la superficie terrestre. La cantidad de agua presente en la Tierra es fija, no varía. Sin embargo, el impulso del Sol hace que el agua circule de manera constante entre los océanos, la atmósfera y la tierra. Esa circulación y conservación del agua de la Tierra, que se conoce como ciclo del agua o ciclo hidrológico, es un componente decisivo de la meteorología y el clima del planeta.

Los océanos albergan más del 96% del agua de la Tierra. Por lo tanto, la evaporación de los mares es el principal vehículo de la parte superficie-atmósfera del ciclo del agua. En realidad, la atmósfera contiene menos del 0,001% del agua de la Tierra, lo que puede parecer llamativo dada la importancia del agua en la meteorología. Mientras que en torno al 90% de ese vapor atmosférico de agua procede de los mares, el 10% restante lo aportan la transpiración de las plantas y la evaporación desde el suelo.

La humedad del suelo

En general, se conoce como humedad del suelo el agua retenida en los espacios entre las partículas del suelo. La humedad acumulada en los suelos superficiales es un componente importante del ciclo del agua, por su función crucial en la regulación de los intercambios de agua y energía entre la tierra y la atmósfera baja. Así pues, como variable del sistema meteorológico y climático, la humedad del suelo siempre ha sido del interés de hidrólogos, científicos del suelo, meteorólogos y ecologistas.

Existe un vínculo directo entre la humedad del suelo y la atmosférica, ya que el suelo seco aporta poca o ninguna humedad a la atmósfera y el suelo saturado puede aportar mucha. En circunstancias extremas, las grandes superficies de tierra inundadas pueden crear un circuito cerrado, ya que la humedad evaporada forma nubes locales que restituyen el agua del sistema mediante la precipitación continua. Además, dado que la humedad del suelo está vinculada a la evaporación, también es importante para regular la distribución del flujo de calor que va de la tierra a la atmósfera. De ese modo, las zonas con una gran humedad del suelo elevan la humedad atmosférica y reducen las temperaturas localmente. Esto queda claramente demostrado, por ejemplo, con el inmediato efecto de frescura que se siente después de regar el jardín en un día caluroso de verano.

En la mayor parte del mundo, la cantidad de agua presente en el suelo es el factor dominante en el crecimiento de las plantas y el rendimiento de las cosechas. Mediante el proceso de fotosíntesis y respiración, las plantas regulan el intercambio del gas dióxido de carbono con la atmósfera, el cual es un proceso controlado fundamentalmente por el agua de que disponen las plantas.



¿Sabías que?

El mayor registro de salinidad en la superficie marina, en torno a 40 unidades prácticas de salinidad (psu), corresponde al Mar Rojo. Sin embargo, el Mar Muerto es el más salado de la Tierra. La elevada evaporación y el hecho de constituir un mar encerrado han hecho que la salinidad superficial ronde las 300 psu, de manera que el agua es tan densa que resulta posible flotar y leer al mismo tiempo.

Entre las latitudes 25° N y 35° S, la Tierra recibe más calor del Sol que el que libera al espacio. Desde esas latitudes hacia los polos, pierde más calor que el que recibe. Si el viento y las corrientes marinas no trasladaran el calor desde los trópicos, estos serían cada vez más cálidos y los polos más fríos.

Cada año se evaporan del océano unos 334.000 km³ de agua, que regresan como precipitación sobre la tierra y el mar.

La cantidad de sal que contienen los océanos es tal que bastaría para construir un bloque de 100×100×100 m por cada ser humano de la Tierra.

La cantidad total de sal en un volumen de agua marina determinado varía de un lugar a otro, pero las proporciones relativas de los distintos tipos de sales (cloruros de sodio, magnesio, potasio y calcio) se mantienen casi constantes.

El punto de congelación del agua marina depende de su contenido de sal. El agua de mar con una salinidad media de 35 psu se congela a -1,9°C.

El desierto de Atacama, en el norte de Chile, es tal vez el lugar más seco y desprovisto de vida de la Tierra. En la zona central de ese desierto, de una aridez extrema, no es posible hallar ni siquiera cianobacterias, que son microorganismos fotosintéticos verdes que habitan en piedras o debajo de ellas en casi todos los demás desiertos.

En torno a un tercio del suelo de la Tierra es desierto.

El tiempo medio de permanencia de una molécula de agua en un depósito determinado es aproximadamente como sigue:

La atmósfera: 12 días

El océano: 4.000 años

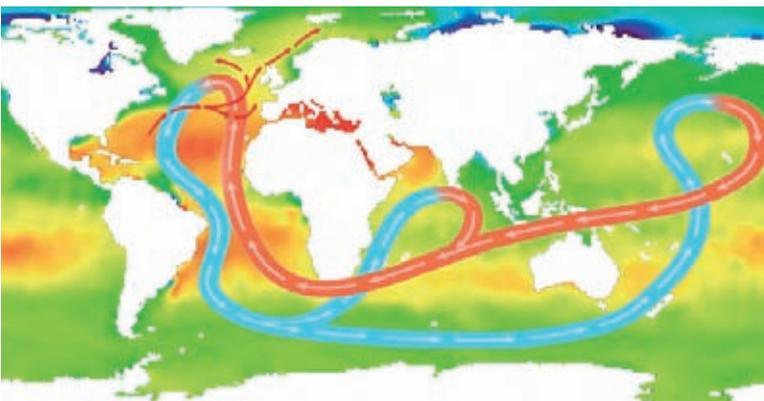
La humedad del suelo: de 2 semanas a 1 año

Capas subterráneas: de 2 semanas a 10.000 años

Salinidad de los océanos

La concentración media de sal disuelta en los océanos, la salinidad, es de unas 35 unidades prácticas de salinidad (psu), lo cual, sencillamente, quiere decir que hay 35 gramos de distintas sales disueltas en cada kilogramo (aproximadamente 1 litro) de agua. La salinidad del agua marina superficial está regulada, en su mayor parte, por un equilibrio entre la evaporación y la precipitación, de modo que, aunque el agua de mar tiene una salinidad media de 35 psu, la salinidad de las aguas superficiales en mar abierto suele situarse entre 32 y 38 psu. La salinidad alcanza valores máximos en las zonas subtropicales, donde la evaporación es mayor que la precipitación. Dichas zonas corresponden a los desiertos que se encuentran a latitudes similares en la tierra. Las aguas superficiales suelen ser menos salinas en torno al ecuador porque las lluvias son más abundantes que la evaporación, y también en latitudes más altas debido a la lluvia, las nevadas y el derretimiento del hielo.

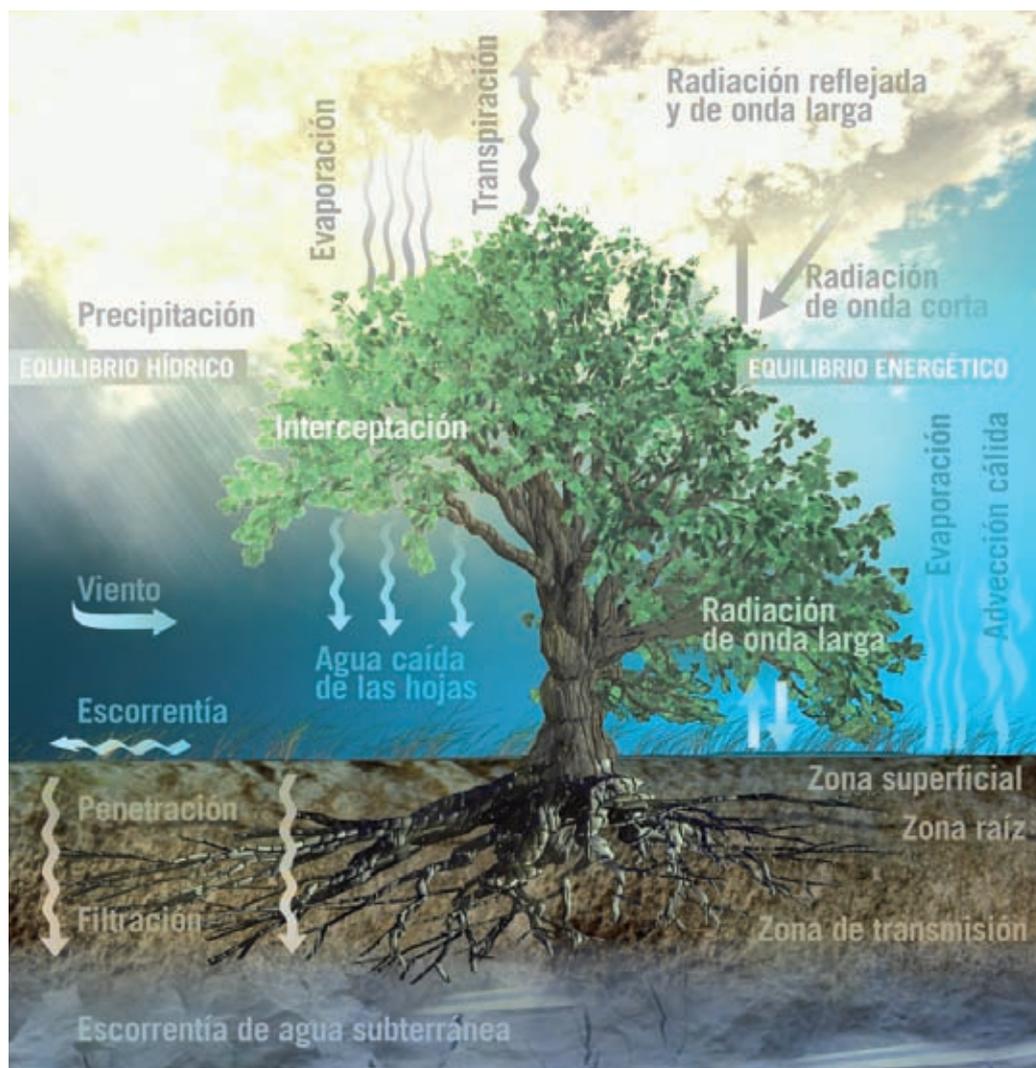
En la superficie de las aguas marinas, la temperatura y la salinidad determinan por sí solas la densidad del agua; cuanto más fría y salada es el agua, mayor es su densidad. Al evaporarse el agua, aumenta la salinidad y la capa superficial se hace más densa. Por el contrario, las precipitaciones provocan la reducción de la densidad y la estratificación del océano. Los procesos de congelación y descongelación del agua de mar también son responsables, respectivamente, del aumento y la reducción de la salinidad de los océanos polares. Cuando se forma el hielo marino durante el invierno, el proceso de congelación extrae agua dulce en forma de hielo y deja detrás un agua superficial densa, fría y salada.



Si la densidad de la capa superficial de agua marina aumenta lo suficiente, la columna de agua se vuelve gravitacionalmente inestable y el agua más densa se hunde. La circulación vertical en los océanos es un componente clave de la circulación marina global determinada por la temperatura y la salinidad, conocida como “circulación termohalina”. Esa circulación a manera de cinta transportadora es un componente importante del motor de calor de la Tierra y es crucial para regular la meteorología y el clima.

El mapa muestra la distribución media de los valores de salinidad de la superficie marina. Las zonas rojas corresponden a una elevada salinidad, y las verdes a una salinidad baja. El mapa tiene superpuesto el patrón de circulación global simplificado, denominado “circulación termohalina”. Las flechas azules señalan corrientes frías más profundas, y las rojas las corrientes superficiales más cálidas. Las variaciones de temperatura (termo) y de salinidad (halina) son variables esenciales que afectan a la circulación de los océanos. La flecha roja que avanza hacia el norte indica las aguas superficiales de la Corriente del Golfo y la Deriva del Atlántico Norte.

¿Por qué se miden la humedad y la salinidad?

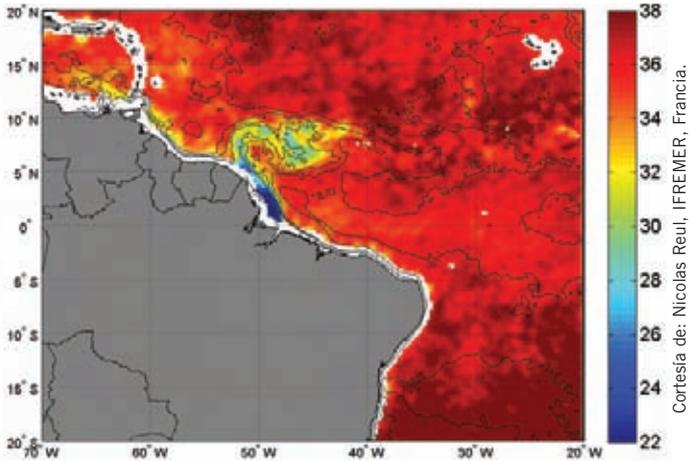


Equilibrio entre energía y agua en el sistema climático físico, que incluye los componentes terrestres y atmosféricos del ciclo del agua.

Podría parecer que no hay relación entre la humedad del suelo y la sal de los océanos, pero en realidad ambas variables están intrínsecamente vinculadas al ciclo del agua y afectan a la meteorología y el clima de la Tierra. Los datos globales sobre la humedad del suelo o la salinidad de los océanos son hoy relativamente escasos, pero la misión SMOS cubrirá esas deficiencias suministrando valiosos datos de observación de ambas variables desde el espacio. Con esa información conoceremos mejor el ciclo del agua, pero además conseguiremos perfeccionar los modelos meteorológicos y climáticos. Los datos sobre la humedad del suelo también serán

útiles para su aplicación en aspectos tales como la agricultura y la gestión de los recursos hídricos.

La humedad del suelo es un componente crucial para las previsiones de temperatura, humedad y precipitaciones. SMOS proporcionará una imagen global de la humedad del suelo superficial cada tres días. Dichos datos, junto con las técnicas de modelización numérica, generarán estimaciones del contenido de agua en el suelo hasta una profundidad de uno o dos metros. Dicha capa se conoce como “zona raíz” y es el depósito del cual las plantas extraen agua y, posteriormente, la



Ejemplo de la salinidad de la superficie marina medida desde el espacio en 2003 con los canales de las bandas C y X del radiómetro AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer – Earth Observing System). En la imagen se aprecian grandes masas de agua dulce procedentes de los ríos Amazonas y Orinoco que diluyen la salinidad de las aguas oceánicas superficiales. Es un tipo de observación que mejorará con el radiómetro en banda L situado a bordo de SMOS.

La salinidad de la superficie marina está muy relacionada con el valor neto de la evaporación menos la precipitación ($E - P$), algo que se aplica especialmente a las regiones tropicales cálidas. A medida que se evapora el agua, aumenta la salinidad de la superficie marina. Esto hace que se hunda la capa superior, provocando la mezcla vertical de las masas de agua.

Es difícil medir el equilibrio $E - P$ del océano con medios convencionales, por lo tanto los mapas de satélite de la salinidad marina proporcionarán una herramienta para establecer estimaciones de $E - P$ a escala global más precisas. Se mejorará así el conocimiento del proceso que determina la parte termohalina de la circulación oceánica y la estimación del flujo de calor de los océanos hacia la atmósfera y, por consiguiente, las previsiones atmosféricas.

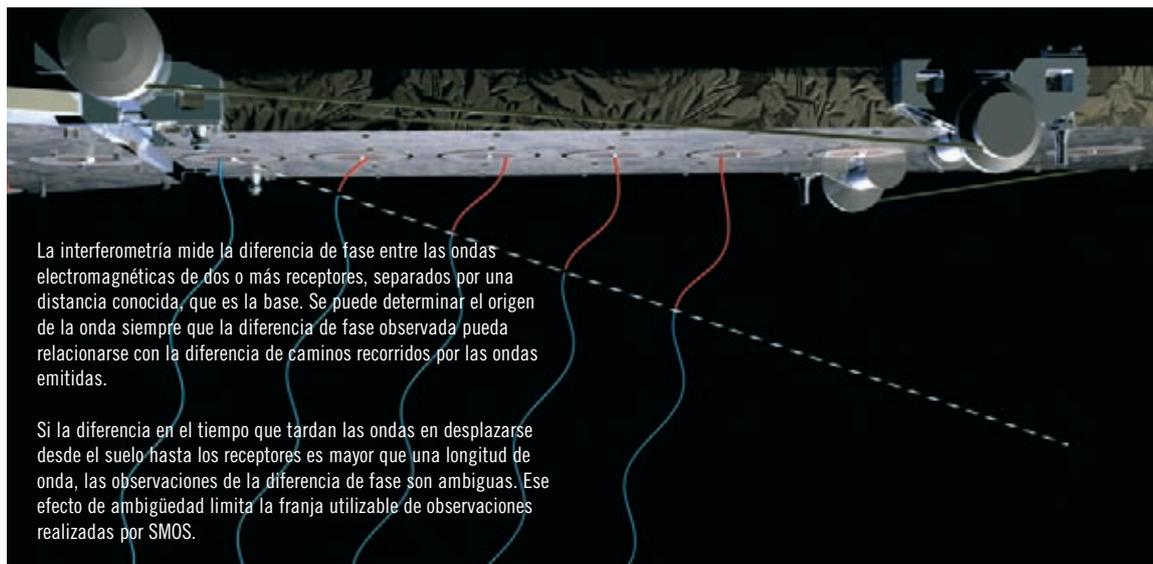
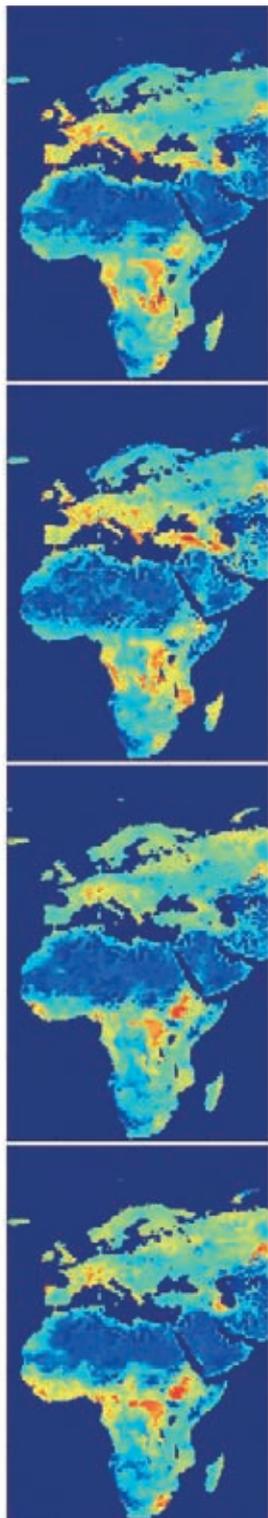
liberan a la atmósfera a través de las hojas mediante el proceso de transpiración.

La estimación de la humedad del suelo en la zona raíz es primordial para mejorar las previsiones meteorológicas a corto y medio plazo, el modelado hidrológico, la observación de la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas, y la estimación y supervisión del ciclo terrestre del carbono. Las estimaciones oportunas de la humedad del suelo son también importantes para la previsión de acontecimientos peligrosos, como inundaciones, sequías y olas de calor.

Las variaciones de temperatura y salinidad de la superficie marina impulsan patrones tridimensionales globales de la circulación de los océanos. A su vez, esa circulación regula nuestro clima. Por ejemplo, las aguas cálidas y saladas de la Corriente del Golfo transportan calor desde el Caribe hasta el Ártico. Eso permite a Europa disfrutar de un clima más templado. Por lo tanto, la salinidad de la superficie marina es una de las variables esenciales que determinan el patrón de circulación oceánica global, que es, al mismo tiempo, un importante indicador del cambio climático.



Modo de actuación de la misión SMOS



La interferometría mide la diferencia de fase entre las ondas electromagnéticas de dos o más receptores, separados por una distancia conocida, que es la base. Se puede determinar el origen de la onda siempre que la diferencia de fase observada pueda relacionarse con la diferencia de caminos recorridos por las ondas emitidas.

Si la diferencia en el tiempo que tardan las ondas en desplazarse desde el suelo hasta los receptores es mayor que una longitud de onda, las observaciones de la diferencia de fase son ambiguas. Ese efecto de ambigüedad limita la franja utilizable de observaciones realizadas por SMOS.

SMOS se ha diseñado para observar la humedad del suelo y la salinidad del océano mediante un solo instrumento; sin embargo, ¿cómo lo hace, teniendo en cuenta que el agua del suelo y la sal de los mares son componentes totalmente distintos del sistema terrestre?

La clave para medir ambos componentes con una sola técnica reside en el hecho de que tanto la humedad como la salinidad ejercen un gran efecto en las propiedades eléctricas de la materia.

Toda materia emite energía en forma de radiación electromagnética. Sin embargo, la cantidad de radiación que puede emitir un material depende de sus propiedades eléctricas. Un material se puede definir por el grado de “emisividad” que posee, es decir, la cantidad de radiación que emite. La misión SMOS aprovechará el hecho de

que la humedad y la salinidad reducen la emisividad, respectivamente, del suelo y del agua marina.

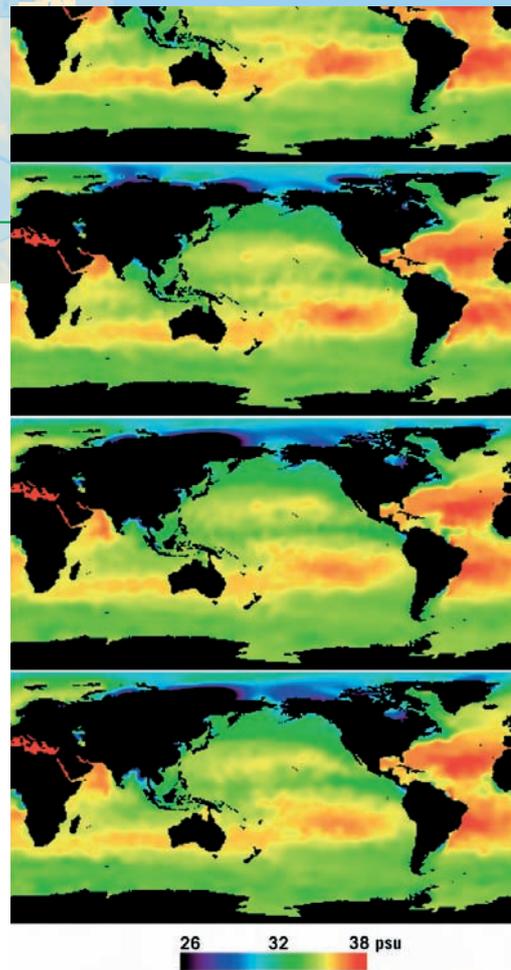
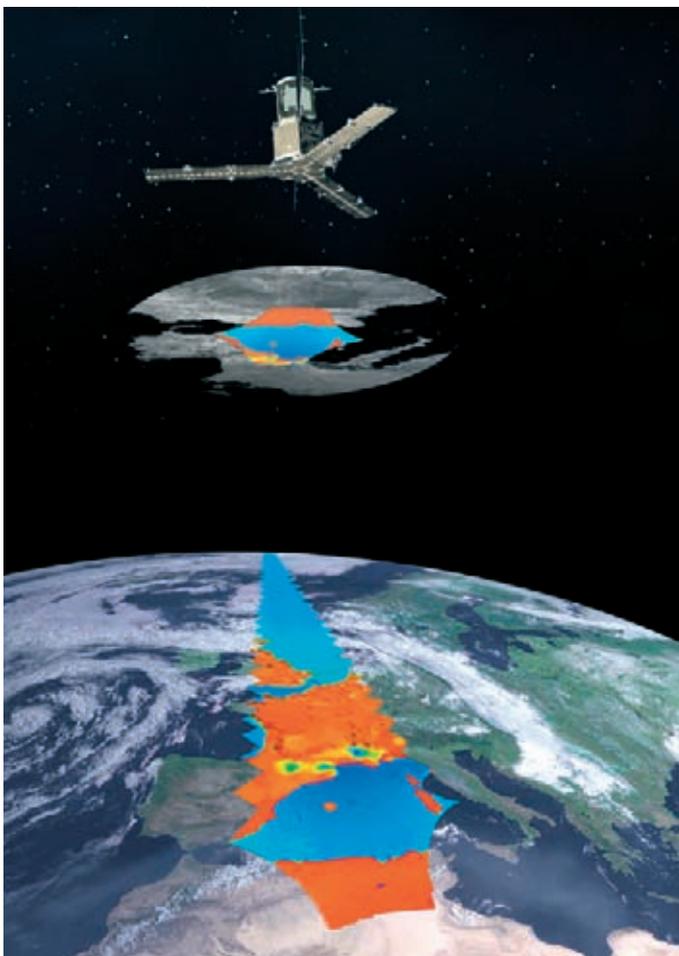
Para obtener resultados óptimos, SMOS medirá la energía de microondas emitida por la superficie de la Tierra en la banda L, que tiene una frecuencia de 1,4 GHz y una longitud de onda de 21 cm. Las observaciones que se realizan en esa frecuencia se ven menos afectadas por la cubierta vegetal, la meteorología y la atmósfera que si se hicieran en otras frecuencias. Normalmente, para llevar a cabo observaciones de la Tierra en la gama de microondas de la banda L, se requiere una antena giratoria de decenas de metros de diámetro para obtener una cobertura y una resolución espacial adecuadas. Sin embargo, si dicha técnica se utilizara con un satélite, debería llevar a bordo una carga costosa y pesada. Se ha hallado una ingeniosa solución consistente en el empleo de un radiómetro interferométrico, que utilizará varios receptores pequeños para medir la diferencia de fase de la radiación incidente. La técnica se basa en la correlación cruzada de las observaciones de todas las combinaciones posibles de pares de receptores. Cada 1,2 segundos se capta una “imagen” bidimensional. A medida que el satélite recorre su órbita, cada receptor de antena

Mapas simulados de la humedad estacional del suelo (a partir del invierno, en la parte superior) de Europa y África. Las unidades son “metro cúbico de agua por metro cúbico de suelo”. Estos mapas de humedad del suelo han sido simulados utilizando un esquema de transferencia suelo-vegetación-atmósfera a partir de datos climáticos.

va observando la zona de medición del suelo desde ángulos distintos.

Desde una altitud de 758 km, la antena captará una superficie de casi 3.000 km de diámetro. Sin embargo, debido al principio de medición por interferometría y a la antena en forma de Y, el campo visual efectivo se limita a una forma hexagonal de unos 1.000 km de ancho, denominada “alias-free zone” o zona sin ambigüedad. Es la zona de observaciones en la que no existen dudas sobre la diferencia de fase. Debido a la órbita de SMOS, se conseguirá una cobertura global cada tres días.

En conclusión, gracias a esa novedosa técnica de medición, SMOS será la primera misión espacial que suministrará mapas mundiales de la humedad del suelo y la salinidad de los océanos.



Mapas simulados de la salinidad estacional de la superficie marina. Sólo exponen variaciones pequeñas, pero demuestran patrones uniformes de un Atlántico más salado en comparación con el Pacífico. Dado que resulta muy difícil obtener muestreos in situ, actualmente sólo es posible estimar la salinidad de la superficie marina global utilizando complejos modelos informáticos para simular los datos.

La humedad es una medida de la cantidad de agua que contiene un volumen dado de material, que se suele expresar como porcentaje gravimétrico o volumétrico. Los valores de humedad del suelo pueden ir desde un porcentaje escaso en zonas secas, hasta un 40% cuando ésta es abundante. El instrumento SMOS puede medir desde el espacio la humedad volumétrica del suelo superficial con una precisión del 4% y una resolución espacial de unos 50 km, que es como detectar una cucharadita de agua en un puñado de tierra. La cobertura de datos global se obtendrá cada tres días.

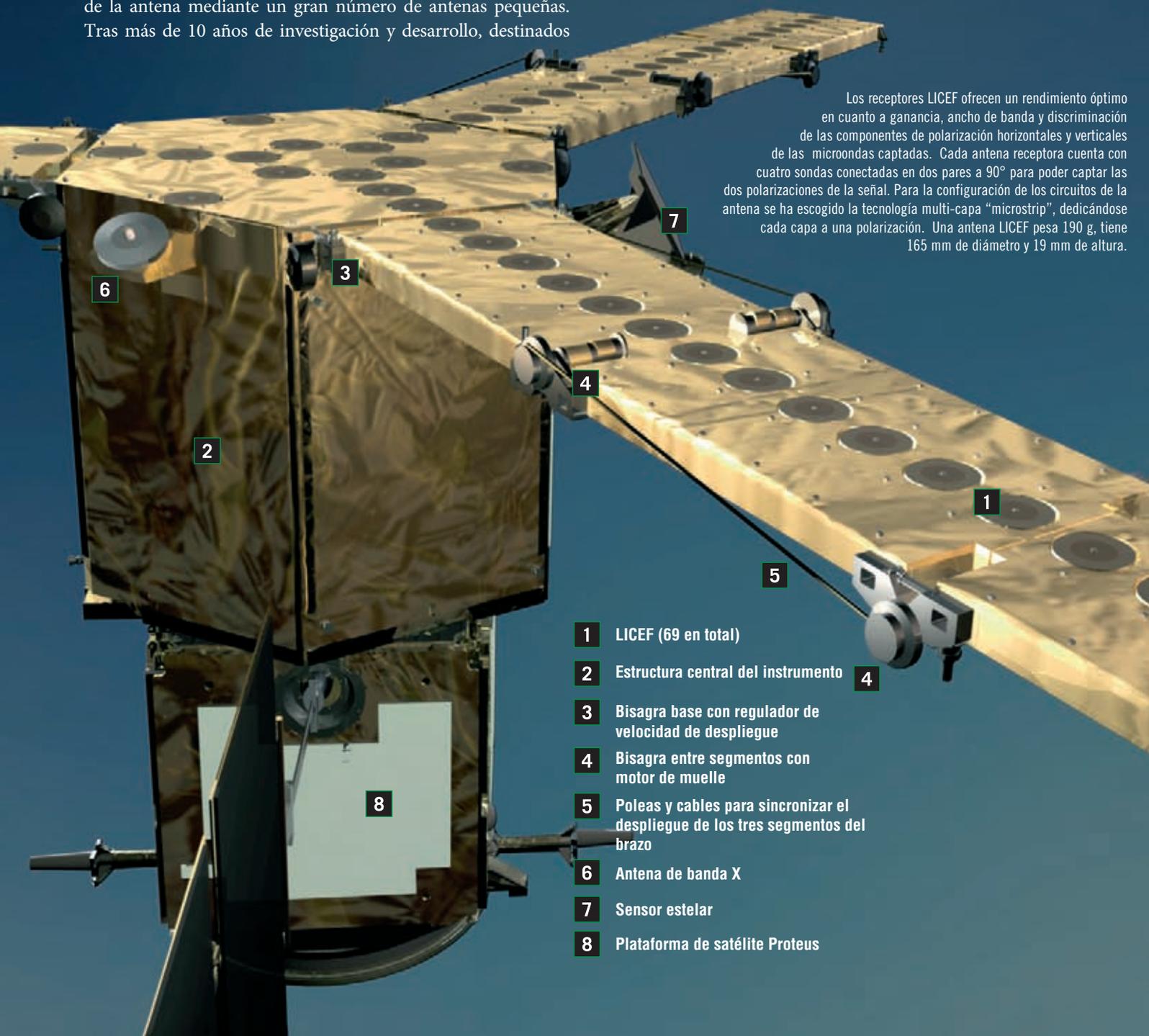
La salinidad es la concentración de sales disueltas en el agua. Se mide en unidades prácticas de salinidad (psu), que expresan una relación de conductividad. La salinidad media del océano es de 35 psu, lo que equivale a 35 gramos de sal en un litro de agua. El objetivo de SMOS es observar la salinidad con una precisión de 0,1 psu (promediando a lo largo de 30 días y en una superficie de 200 km x 200 km), que es igual a detectar 0,1 gramos de sal en un litro de agua.

El instrumento

Uno de los mayores retos a que se enfrenta la misión SMOS es lanzar al espacio y demostrar el uso de un tipo de instrumento totalmente novedoso: un radiómetro interferométrico que opera entre los 1.400 y los 1.427 MHz (banda L). Para obtener la resolución espacial que permite observar la humedad del suelo y la salinidad del océano, las leyes de la física obligan a utilizar una antena enorme. La solución propuesta fue sintetizar la apertura de la antena mediante un gran número de antenas pequeñas. Tras más de 10 años de investigación y desarrollo, destinados

a demostrar las prestaciones esenciales del instrumento, como el despliegue de las antenas y la validación de las imágenes, el innovador instrumento de SMOS, denominado MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis) ya se encuentra preparado para la misión. EADS (European Aeronautic Defence and Space) CASA Espacio, de España, es el contratista principal de MIRAS.

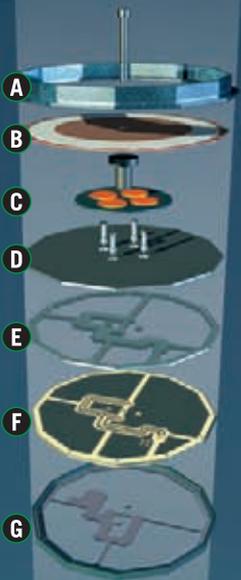
Los receptores LICEF ofrecen un rendimiento óptimo en cuanto a ganancia, ancho de banda y discriminación de los componentes de polarización horizontales y verticales de las microondas captadas. Cada antena receptora cuenta con cuatro sondas conectadas en dos pares a 90° para poder captar las dos polarizaciones de la señal. Para la configuración de los circuitos de la antena se ha escogido la tecnología multi-capa "microstrip", dedicándose cada capa a una polarización. Una antena LICEF pesa 190 g, tiene 165 mm de diámetro y 19 mm de altura.



- 1 LICEF (69 en total)
- 2 Estructura central del instrumento
- 3 Bisagra base con regulador de velocidad de despliegue
- 4 Bisagra entre segmentos con motor de muelle
- 5 Poleas y cables para sincronizar el despliegue de los tres segmentos del brazo
- 6 Antena de banda X
- 7 Sensor estelar
- 8 Plataforma de satélite Proteus



Los receptores LICEF



MIRAS consta de una estructura central y tres brazos desplegables, con tres segmentos cada uno. Durante el lanzamiento esos brazos están plegados, pero poco después de la separación del vehículo de lanzamiento se despliegan con suavidad mediante un sistema de motores accionados por muelles y reguladores de velocidad.

Hay 69 elementos de antena, denominados receptores LICEF, distribuidos de manera uniforme sobre los tres brazos y la estructura central. Cada LICEF es una unidad receptor-antena integrada que mide la radiación emitida en la banda L por la Tierra. La señal captada se transmite después a una unidad de correlación central, que realiza la correlación cruzada (interferométrica) de las señales de todas las combinaciones posibles de pares de receptores. Como los cálculos se procesan previamente a bordo, se reduce drásticamente la cantidad de datos que se transmite a tierra.

MIRAS puede operar en dos modos de medición: de doble polarización o polarimétrico. En el modo de doble polarización, la antena LICEF alterna mediciones horizontales y verticales, lo que permite medir las componentes horizontales y verticales de las microondas que se reciben. Por otra parte, se ha implementado el modo polarimétrico para adquirir ambas polarizaciones a la vez. Lo positivo de ese modo mejorado es que proporciona ventajas científicas añadidas, sin embargo, se dobla la cantidad de datos

que se deben transmitir a tierra. Sólo la experiencia práctica demostrará si el modo de doble polarización satisface los objetivos científicos de la misión, o si MIRAS deberá actuar de manera continua en el modo polarimétrico, que es más exigente.

Los parámetros del receptor LICEF son sensibles a la temperatura y el envejecimiento. Por lo tanto, se deben calibrar en vuelo para garantizar que se cumplen los requisitos de precisión de la misión. Un sistema de calibración interno, que actúa varias veces por órbita, introduce una señal de características conocidas en todos los receptores LICEF. Durante ese breve periodo de calibración que dura 1,2 segundos, los receptores cambian a la señal de calibración en lugar de la señal captada por la antena. Además, cada 14 días se lleva a cabo una calibración absoluta utilizando como referencia la radiación cósmica de fondo cuya intensidad es bien conocida; para ello, es necesario que el satélite realice maniobras de apuntamiento específicas.

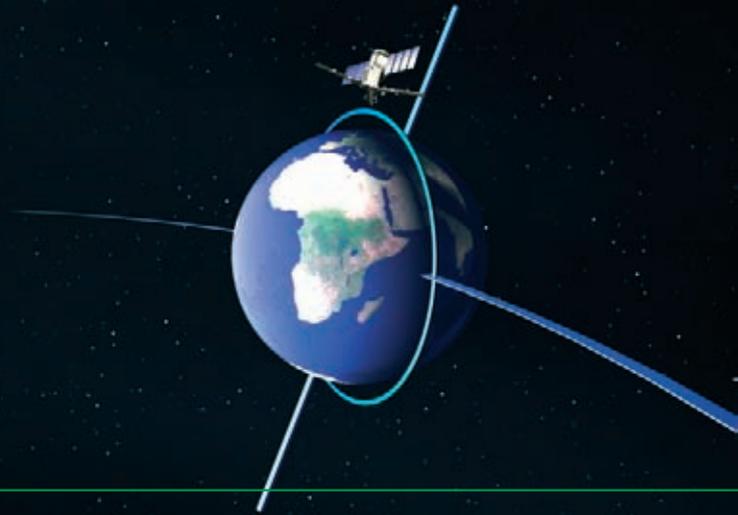
Para evitar perturbaciones electromagnéticas, algo extremadamente importante en un instrumento de gran sensibilidad como MIRAS, las señales de medición de LICEF se transmiten por un cableado de fibra óptica al corazón de la carga útil: la unidad de control y correlación. En el sentido opuesto, los LICEF reciben una señal de reloj estable como referencia. Además, la unidad de control y correlación mantiene los modos de funcionamiento de los instrumentos en general y suministra comunicación con la plataforma del satélite.

Es necesario conocer la posición y la orientación del satélite para “geolocalizar” correctamente las mediciones del radiómetro en tierra. La plataforma del satélite proporciona dichos datos mediante un receptor GPS y sensores estelares.

Los datos científicos y de gestión se captan y almacenan en una gran memoria de 20 Gigabits y se transmiten después a tierra por banda X cada vez que la estación de tierra específica se encuentra al alcance. En el modo de reserva, esta operación se ejecuta de manera autónoma utilizando información GPS a bordo.

- A** Estructura de fibra de carbono
- B** Antena de parche
- C** Sondas de alimentación
- D** Pared posterior de la cavidad de la antena parche
- E** Separador de aluminio
- F** Circuitos de alimentación (circuitos multicapa microstrip en ambos lados del plano de masa)
- G** Separador de aluminio

El satélite



La carga útil de SMOS se embarcará en una nave de transporte estándar llamada Proteus, desarrollada por la agencia espacial francesa CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) y Thales Alenia Space de Francia. Dado que Proteus es una plataforma genérica con interconexiones bien definidas, sólo ha sido necesario incorporar algunas adaptaciones pequeñas y cuatro dispositivos de interfaz para montar el instrumento científico SMOS en el satélite.

Aunque la nave de transporte es pequeña, ya que apenas tiene un volumen de un metro cúbico, actúa como módulo de servicio para alojar todos los subsistemas necesarios para el funcionamiento del satélite. El satélite SMOS se conectará al lanzador Rockot mediante un anillo de interfaz. Después del despegue, cuando el satélite se haya separado del lanzador, se producirá una secuencia de arranque automática para desplegar dos paneles solares simétricos. SMOS volará en una órbita terrestre polar baja, a una altitud aproximada de 758 km. Se requiere una órbita heliosincrónica, con cruces por el ecuador al amanecer y al anochecer, para obtener mediciones científicas óptimas. De ese modo los paneles solares estarán siempre iluminados, excepto en breves periodos de eclipse en invierno.

Dos alas simétricas formadas por paneles solares, cubiertos con células de silicio clásicas, generan la energía eléctrica. Cada ala está constituida por cuatro paneles despletables, cada uno de los cuales mide 1,5x0,8 m. Dado que la órbita es heliosincrónica, las alas permanecen estáticas una vez que SMOS alcanza la órbita y la actitud definitivas.

El subsistema de control térmico de la plataforma utiliza radiadores pasivos y regulación activa mediante calentadores. La carga útil de SMOS cuenta con regulación térmica propia, excepto cuando el satélite se encuentra en modo de seguridad. En esos periodos, Proteus controla los calentadores especiales que están distribuidos en el módulo de carga útil.

Proteus utiliza un receptor GPS para el cálculo y el control de la órbita, que suministra datos



Vehículo de lanzamiento

SMOS se enviará al espacio con un lanzador modificado del misil balístico intercontinental (ICBM) SS-19 ruso. Rockot utiliza las dos etapas inferiores originales de combustible líquido del ICBM, junto con una tercera etapa nueva para cargas útiles comerciales. Rockot es comercializado y gestionado por Eurockot, una sociedad conjunta germano-rusa. El lanzamiento se realizará desde el cosmódromo Plesetsk situado en el norte de Rusia. El satélite Proba-2 (Project for On-Board Autonomy-2) de la ESA se lanzará junto con SMOS. Proba-2 servirá como banco de pruebas de 17 nuevos avances tecnológicos. Portará instrumentos para observar el Sol y contribuir a la investigación de la climatología espacial.



Carga útil de SMOS y plataforma Proteus en la sala blanca de Thales Alenia Space, en Cannes, Francia

- 1 Paneles solares
- 2 Antenas de banda S
- 3 Motores de hidracina
- 4 Antena GPS
- 5 Sensores solares (uno en cada esquina)
- 6 Adaptador de interface entre satélite y lanzador
- 7 Sensor estelar
- 8 Antena de banda X
- 9 Estructura central del instrumento

de posición del satélite. También cuenta con un sistema monopropulsor de hidracina para cuatro propulsores de 1 N montados en la base del satélite. El control de actitud se basa en giróscopos y un sensor estelar. El sensor estelar se aloja en la carga útil y ofrece información de apuntamiento precisa para las mediciones del instrumento y el control de actitud del satélite. Se utilizan tres giróscopos de dos ejes para medir los cambios de orientación del satélite, que suministran así los datos exactos de actitud necesarios para satisfacer los requisitos de estabilidad y apuntamiento. Cuatro ruedas de reacción pequeñas generan el par de fuerza necesario para los ajustes de actitud. En modo de seguridad se mantiene una orientación menos precisa mediante el uso de mediciones magnéticas y solares, en concreto, con dos magnetómetros de tres ejes y ocho sensores solares básicos,

en tanto que unos dispositivos de par magnético actúan como únicos actuadores.

La arquitectura de comandos y de administración de datos a bordo está centralizada en una unidad de gestión de datos. Gestiona los modos operativos del satélite, ejecuta operaciones de detección y corrección de fallos, controla los parámetros de mantenimiento y la comunicación con el segmento de tierra, y organiza la distribución de energía a todas las unidades del satélite. Además, la unidad de gestión de datos se comunica con el procesador central de la carga útil, transmite las instrucciones recibidas desde tierra y suministra todos los datos auxiliares del satélite que necesita la carga útil para realizar las mediciones científicas.

El ajuste de SMOS



Cortesía de: Universidad de Valencia, España

Mediciones de calibración de la salinidad y temperatura de la superficie marina en el Mediterráneo. Se realizaron mediciones simultáneas desde un avión que sobrevolaba la zona de la campaña.

La radiación observada por SMOS no es sólo fruto de la humedad del suelo y la sal de los mares. Para asegurarse de que los datos de la misión se convierten correctamente en unidades de humedad y salinidad, es necesario tener en cuenta muchos otros efectos que influyen en la señal que recibe el satélite.

Por ejemplo, es necesario considerar los cambios que se producen en la ionosfera y en la atmósfera mientras la señal se desplaza desde tierra hasta el satélite. En la superficie de la Tierra, las variables geofísicas, como la vegetación y los cambios estacionales, el tipo de suelo, las irregularidades del



Cortesía de: Y. Kerr, CESBIO

Utilización de un radiómetro de banda L en un punto cercano a Toulouse, Francia. Las mediciones, realizadas a lo largo de varios meses, se utilizaron para calcular la influencia en la emisión de microondas de la vegetación en distintas fases de crecimiento y con condiciones de humedad del suelo diferentes.

terreno, el rocío y la escarcha, influyen en la señal de medición. También ejercen influencia los cambios de temperatura de la tierra y de la superficie marina, al igual que los efectos de las olas y de la espuma del mar.

Por lo tanto, el desarrollo completo de la misión SMOS no sólo se enfrenta al intrincado proceso de creación de un instrumento novedoso, también exige una labor de campo prolongada para asegurarse de que los datos de humedad del suelo y de salinidad del mar son tan precisos como sea posible. Para ello es necesario llevar a cabo diversos estudios



El avión 'Skyvan', perteneciente a la Universidad Tecnológica de Helsinki, Finlandia, transporta el radiómetro en banda L EMIRAD, de la Universidad Técnica de Dinamarca. La aeronave se utiliza actualmente en varias campañas de validación de la humedad del suelo en Alemania y España.



Cortesía de: G. Macelloni, IFAC, CNR

Desde 2005 se llevan a cabo observaciones a largo plazo de la superficie de la capa helada en la estación Concordia, de la Antártida. La capa helada de la zona es muy estable a 1,4 GHz, como quedó de manifiesto con las mediciones del radiómetro de torre en el experimento DOMEX-1 y en el DOMEX-2, actualmente en curso. Como consecuencia, esa región se utilizará para la calibración externa y la monitorización de MIRAS.

14 15

permanentes, junto con actividades de campaña específicas y muchas mediciones realizadas en tierra y desde aviones, con el fin de simular y evaluar los productos de datos.

Por ejemplo, se han efectuado exhaustivos trabajos de campo en una plataforma petrolífera del mar Mediterráneo para examinar la relación existente entre la radiación emitida por la superficie marina en la banda L (frecuencia de 1,4 GHz/ longitud de onda de 21 cm) y la variación de las condiciones del mar debida a las distintas velocidades del viento, los tipos de olas y la capa de espuma. En diversas campañas se han utilizado varios instrumentos desde aviones, torres de medición y plataformas de investigación. Las mediciones se realizaron sobre una gran variedad de blancos, como bosques, campos agrícolas, montañas y mares, con el fin de obtener información

sobre la humedad del suelo y la salinidad marina. Para analizar el impacto del viento en la captación de la señal de microondas sobre el océano, en un experimento específico se hizo volar un radiómetro sobre el Mar del Norte. También se desarrollaron actividades de campaña en la meseta polar de la Antártida oriental, que se ha mostrado como un entorno muy estable para la calibración y la monitorización del instrumento de SMOS.

De esas y otras actividades se obtienen muchos resultados detallados, que son vitales para el ajuste de los criterios de captación. Se garantiza así que SMOS suministrará los mejores datos posibles para la obtención de la humedad del suelo y la salinidad de los océanos. Hay unos 40 grupos de científicos de todo el mundo que contribuyen a la validación de los productos de datos de SMOS.

Descripción general

SMOS realizará observaciones globales de la humedad del suelo de los continentes y de la salinidad de los océanos. Con dichos datos se profundizará en el conocimiento del ciclo del agua y, en particular, de los procesos de intercambio entre la superficie de la Tierra y la atmósfera. Los datos de SMOS permitirán mejorar los modelos meteorológicos y climatológicos, y tendrán también aplicación práctica en aspectos tales como la agricultura y la administración de los recursos hídricos.

Datos de la misión

Lanzamiento: 2009

Duración: teóricamente, 3 años (incluida una fase de puesta en servicio de 6 meses) con opción a una ampliación de 2 años

Objetivos de la misión

- Humedad del suelo: Precisión del 4% de la humedad volumétrica del suelo, resolución espacial de 35 km – 50 km y repetición de paso de 1 a 3 días
- Salinidad de los océanos: Precisión de 0,5 a 1,5 unidades prácticas de salinidad (psu) en cada observación y de 0,1 psu en una media de 30 días de una zona de 200x200 km

Órbita de la misión

Tipo: terrestre baja, polar, heliosincrónica, casi circular, de amanecer-anochece

Altitud media: 758 km

Inclinación: 98,44°

Carga útil

- Radiómetro de imágenes de microondas con síntesis de apertura en 2D (MIRAS) en banda L (1,4 GHz/21 cm)
- 69 receptores dispuestos a lo largo de una antena desplegable en forma de Y

Configuración

- Plataforma de satélite (~1 m³) con paneles de generadores solares desplegables e interfaz con el vehículo de lanzamiento
- Módulo de carga útil (~1 m³) montado sobre la plataforma
- Las dimensiones generales con la configuración para lanzamiento caben en un cilindro de 2,4 m de altura y 2,3 m de diámetro

Masa

658 kg en total, que incluyen:

- Plataforma Proteus de 303 kg (incluidos 28 kg de combustible de hidracina)
- Carga útil MIRAS de 355 kg

Potencia

- Máxima disponible para el satélite: 1.065 W
- Consumo máximo para la carga útil MIRAS: 511 W
- Batería de la plataforma Proteus: Li-ion 78 Ah

Control de actitud y órbita del satélite

- Estabilización en 3 ejes, inclinado 32,5° hacia delante, apuntamiento local normal y compensación de ángulo de guiñada

- Sensor estelar, giróscopos, magnetómetros, GPS, sensores solares
- Ruedas de reacción, dispositivos de par magnético, 4 propulsores de 1N

Comando y control

Gestión de datos integrada en la plataforma y ordenador de sistema de control de órbita y actitud que interactúa con el control propio de la carga útil y la unidad de correlación mediante un bus 1553 y enlaces serie

Almacenamiento a bordo de la carga útil

- 1 grabador de estado sólido con capacidad de 2 x 20 Gbits
- Datos de carga útil generados a bordo: 15,4 Gbits/día (total en modo polarimétrico)
- Transmisión de datos de la carga útil mediante banda X: en modo nominal, con instrucciones desde tierra mediante el sistema de planificación de la misión; en modo de reserva (sistema autónomo), con utilización de datos de GPS a bordo para el cálculo de visibilidad de la estación de tierra

Enlaces de comunicación

- Descarga de datos científicos por banda X al Centro Europeo de Astronomía Espacial (ESAC) de Villanueva de la Cañada (Madrid), España, complementada por una estación de banda X en Svalbard, Noruega, para la captación de productos de datos en tiempo casi real
- Enlaces en banda S de subida (4 kbps) y bajada (722 kbps) a Kiruna, Suecia, para telemetría y telemando del satélite (estación de tierra Proteus genérica)

Vehículo de lanzamiento

Rockot (SS-19 convertido) con etapa superior Breeze-KM. Lanzamiento desde el cosmódromo ruso de Plesetsk

Operaciones de vuelo

Control de la misión desde el Centro de Control y Comando Proteus de CNES (CCC) de Toulouse, Francia, mediante red de estaciones en tierra en banda S de CNES: Kiruna en Suecia, Aussaguel en Francia y Kourou en la Guayana Francesa. Operación de carga útil preparada por el Centro de Programación de Operaciones de Carga Útil (ESA) y ejecutada por el CCC)

Procesamiento de datos

Centro de Procesamiento de Datos del ESAC, archivo de larga duración en Kiruna, y Servicios de Usuario a través del Centro de Observación Terrestre ESRIN de la ESA situado en Frascati, Italia

Contratista principal de la carga útil

EADS CASA Espacio (España)

Plataforma

Suministrada por CNES (Francia) a través de Thales Alenia Space (Francia)





European Space Agency
Agence spatiale européenne

Contact: ESA Communications
ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands
Tel. (31) 71 565 3408 - Fax (31) 71 565 5433