

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R RS.1883
(02/2011)

**Utilización de sistemas de detección a
distancia para el estudio del cambio
climático y de sus efectos**

Serie RS
Sistemas de detección a distancia



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radioastronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2011

© UIT 2011

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R RS.1883

Utilización de sistemas de detección a distancia para el estudio del cambio climático y de sus efectos

(2011)

Cometido

Esta Recomendación proporciona directrices sobre la provisión de datos obtenidos por teledetección a través de satélites a efectos de estudiar el cambio climático

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el cambio climático es un fenómeno global que afecta a toda la humanidad;
- b) que cabe esperar que el cambio climático se manifieste mediante importantes modificaciones en el entorno terrestre que, a su vez, darán lugar a la aparición o al incremento de las catástrofes naturales;
- c) que para el estudio del cambio climático son imprescindibles las capacidades de observación de la Tierra que sólo pueden satisfacer la instrumentación o los sensores de teledetección a bordo de satélites;
- d) que dichos sensores de teledetección a bordo de satélites ya existen y funcionan en bandas de frecuencias atribuidas actualmente al servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS),

reconociendo

- a) que la Resolución 673 (CMR-07) – Utilización de las radiocomunicaciones para aplicaciones de observación de la Tierra, consideró que «los datos de observación de la Tierra también son indispensables para la supervisión y predicción de los cambios climáticos ... para mejorar el conocimiento, la elaboración de modelos y la verificación de todos los aspectos del cambio climático, y para la formulación de políticas en esta materia, y además observó que más del 90% de las catástrofes naturales tienen que ver con el clima o la meteorología ... que si bien es reducido el número de países que explotan actualmente satélites de observación meteorológica y de la Tierra, los datos y/o análisis conexos derivados de dicha explotación se distribuyen y analizan a escala mundial ... por organizaciones relacionadas con el cambio climático»;
- b) que la Resolución 672 (CMR-07) – Ampliación de la actual atribución al servicio de meteorología por satélite en la banda 7 750-7 850 MHz, reconoció que los datos obtenidos por estos satélites meteorológicos son indispensables para la predicción meteorológica mundial, los cambios climáticos y la predicción de riesgos de catástrofes,

observando

- a) que la Resolución 73 – Tecnologías de la información y la comunicación y el cambio climático, reconoció que dichas TIC pueden aportar una contribución fundamental a la hora de reducir los efectos del cambio climático y adaptarse a los mismos, como se indica en el Anexo 1, y que las TIC desempeñan un papel de gran importancia en la supervisión y estudio del cambio climático soportando la investigación científica básica, que ha ayudado a presentar este tema del cambio climático ante el gran público y a aumentar la sensibilización sobre los retos futuros que nos esperan al respecto;

b) que el Informe de la UIT – La UIT y el cambio climático, habla de fortalecer las asociaciones estratégicas con varios organismos de la Naciones Unidas, con el Banco Mundial, la Comisión Europea, con las agencias y organizaciones nacionales e internacionales (por ejemplo, las agencias de meteorología, el Grupo de Observaciones de la Tierra, EUMESAT, ESA, el Grupo de Coordinación de Frecuencias Espaciales, JAXA, NOAA, NASA y Roscosmos), con las ONG y con el sector privado, implicados en la lucha contra el cambio climático y aborda el cometido que puede desempeñar el SETS en la supervisión del cambio climático;

c) que el Informe UIT-R RS.2178 proporciona una amplia panorámica de las distintas aplicaciones de radiocomunicaciones utilizadas en la observación de la Tierra, la investigación espacial y la radioastronomía y describe su influencia y ventajas económicas y sociales para la comunidad mundial y, especialmente, su importancia para el estudio del cambio climático y la predicción del mismo, y para la alerta temprana, la supervisión y la reducción de los efectos de las catástrofes naturales y artificiales,

recomienda

1 que las administraciones reconozcan la importancia de los sensores de teledetección a bordo de los satélites para el estudio del cambio climático, como se explica en los Anexos;

2 que los operadores continúen suministrando datos medioambientales relacionados con el clima;

3 que se refuerce la protección ofrecida a los sistemas que proporcionan observaciones climatológicas de vital importancia.

Anexo 1

Utilización de sistemas de detección a distancia para el estudio del cambio climático y de sus efectos

1 Introducción

Los vehículos espaciales del SETS proporcionan regularmente cobertura mundial con los mismos instrumentos o instrumentos funcionalmente idénticos. Por tanto, suministran conjuntos de datos plenamente coherentes en todo el mundo. Frecuentemente, esos conjuntos de datos se solapan en el tiempo y permiten elaborar conjuntos de datos contiguos que abarcan décadas. Si bien estos conjuntos de datos no se extienden a siglos o milenios, proporcionan, no obstante, datos cruciales para los estudios del cambio climático.

Los satélites constituyen el medio más adecuado de obtener una instantánea del estado actual de nuestro planeta desde una única perspectiva unificada. Ningún instrumento concreto de un vehículo espacial puede ofrecer una imagen completa; sin embargo, la presente flota de vehículos espaciales, que funcionan de manera coordinada y comparten sus datos, nos dan la mejor evaluación disponible de las condiciones globales.

Estos datos cumplen dos objetivos:

- proporcionan un base para observar y medir los cambios climáticos y sus efectos en el planeta;
- ofrecen información científica sólida para la elaboración de modelos climáticos.

Las ciencias de la climatología han avanzado de forma espectacular gracias a las observaciones por satélite. El radiómetro incorporado en el Explorer 7 de 1959 a 1961 hizo posible medir directamente la energía que entra y sale de la Tierra. Esta misión y las siguientes permitieron a los científicos medir el balance energético de la Tierra con un nivel de precisión mucho mayor en comparación con el logrado en anteriores estimaciones indirectas y dio lugar a la aparición de modelos climáticos mejorados. A medida que los radiómetros se perfeccionaron, estas mediciones lograron la precisión, la resolución espacial y la cobertura global necesaria para observar directamente las perturbaciones en el balance de energía global de la Tierra asociadas a los fenómenos a corto plazo tales como erupciones volcánicas importantes o el fenómeno El Niño-Oscilación Austral (ENSO). Estos radiómetros miden directamente el transporte de calor en sentido Ecuador-Polo provocado por el sistema climático, el efecto invernadero de los gases atmosféricos y el efecto de las nubes sobre el balance energético total de la Tierra. Estas observaciones han profundizado nuestra comprensión del sistema climático y han mejorado la precisión de los modelos climáticos.

Los satélites implicados en la investigación atmosférica (por ejemplo, el AURA) y que soportan la meteorología operacional (por ejemplo, las series MetOpa europeas y las series de satélites en órbita polar de la Administración Nacional de Estados Unidos de América para Mediciones Oceánicas y Atmosféricas (NOAA)) proporcionan diariamente perfiles tridimensionales a escala mundial de la temperatura y humedad atmosféricas así como datos relativos a los componentes atmosféricos secundarios, tales como el ozono. Si bien estos datos se introducen en los modelos de previsiones meteorológicas, también sirven para definir el estado actual de la atmósfera y ofrecer pruebas a corto plazo de modelos climáticos.

Otras características terrenales son supervisadas por vehículos espaciales que no intervienen en estas mediciones atmosféricas. Por ejemplo, pueden citarse:

- las series de vehículos espaciales Landsat y SPOT que han estado vigilando la superficie de la Tierra durante décadas;
- el QuickSCAT y los ADEOS-1 y 2 que han supervisado los vientos de las superficies marítimas;
- TPEX/Poseidon y las series Jason que han estudiado las alturas y temperaturas de la superficie del mar;
- el satélite SMOS y otros satélites tales como el Aquarius y el SMAP que comprueban, o comprobarán, la humedad del suelo y la salinidad del océano.

Otros vehículos espaciales y otras técnicas, tales como los radares de apertura sintética (SAR) y las observaciones por microondas pasivas, mejoran nuestra capacidad para describir nuestro planeta, particularmente mediante la observación de las regiones polares donde la oscuridad invernal impide la obtención de imágenes ópticas.

2 Hielo o la criosfera

Una de las cuestiones principales que se plantea en la investigación del cambio climático y la criosfera (región de los hielos) es la forma en que el calentamiento climático afectará a las capas de hielo. Este tema reviste importancia ya que el volumen de hielo continental y de agua fundida que llega a los océanos contribuye decisivamente en los cambios de nivel del mar. Antes de la aparición de los satélites, los datos recogidos de la regiones polares se limitaban a aquéllos obtenidos localmente durante las estaciones del año más favorables. La utilización de instrumentación

radioeléctrica a bordo de satélites ha demostrado ser particularmente útil en las regiones polares puesto que en esas zonas de la tierra hay grandes periodos de oscuridad durante el invierno, obstaculizando de esa forma las observaciones del espectro visible. La visión sinóptica obtenida desde los satélites, especialmente desde los satélites equipados con sensores radioeléctricos, ha incrementado la cobertura de datos polares en varios órdenes de magnitud y el acceso ya no queda restringido por las estaciones del año.

Antes de la aparición de los satélites, se suponía que el equilibrio de la masa de hielo en la Antártida y en Groenlandia estaba controlado por la diferencia entre la tasa de fusión del hielo y la tasa de acumulación, y se suponía igualmente que el ritmo de descarga de hielo en el océano era constante. Las imágenes de radar del satélite RADARSAT demostraron que:

- 1) la velocidad del flujo de la capa de hielo es muy variable;
- 2) existen redes complejas de corrientes de hielo;
- 3) la velocidad del flujo de la corriente de hielo hacia el mar ha aumentado notablemente debido al cambio climático.

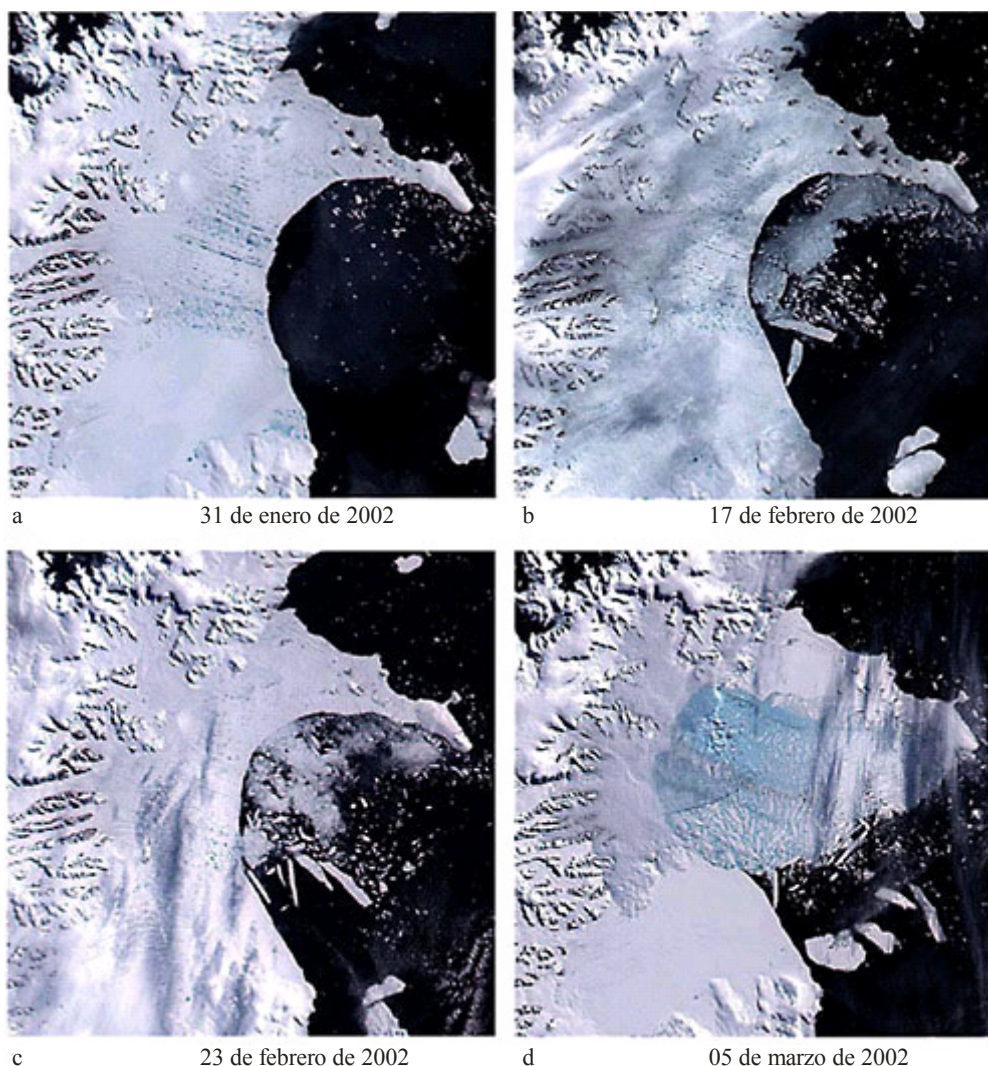
Una evidencia de que se está produciendo un cambio climático/calentamiento global es la retirada, en vez del avance, de los flujos de las capas de hielo (tanto en los glaciares como en el hielo del mar). El estudio de los regímenes de los glaciares en todo el mundo revela una amplia merma generalizada desde finales de los años 70, con una marcada aceleración a finales de los 80. La teledetección se utiliza para documentar los cambios en la extensión de los glaciares (el tamaño del glaciar) y la posición de la línea de equilibrio (la elevación del glaciar cuando la acumulación invernal queda equilibrada por la fusión en el verano). Desde 1972, los satélites han proporcionado imágenes ópticas de la extensión de los glaciares. El SAR se emplea actualmente para estudiar las zonas de acumulación de nieve del glaciar y la fusión del hielo a fin de determinar la variación climática, y la altimetría por láser se usa para medir los cambios en la elevación del glaciar.

Como los glaciares responden a los anteriores y a los actuales cambios climáticos, se ha elaborado un completo inventario de glaciares a escala mundial con objeto de realizar un seguimiento de la extensión actual así como de las tasas de cambio de los glaciares del mundo. El programa de Mediciones de la Masa de Hielo en la superficie terrestre del proyecto Space utiliza datos del satélite ASTER y el Tragador Temático Ampliado de Landsat para inventariar unos 160 000 glaciares en todo el mundo. Estas mediciones y los resultantes análisis de tendencias son indicadores importantes del cambio climático y constituyen un ejemplo del valor y la importancia que tienen los conjuntos de datos obtenidos a largo plazo para comprender el complejo sistema climático.

Las capas de hielo pueden supervisarse fácilmente mediante la instrumentación a bordo de los vehículos espaciales, tanto activos como pasivos. Las rupturas de importantes placas de hielo (por ejemplo, la Barrera de Hielo Larsen B) en el Antártico se han observado desde el espacio. Estas rupturas, si bien no cabe atribuir las al calentamiento global, han sido aceleradas por dicho calentamiento. El colapso de la Barrera de Hielo Larsen B en la Antártida en 2002, detectado sólo gracias a la frecuente cobertura por imágenes de satélite, ilustra de manera inequívoca la dinámica de las capas de hielo en periodos de tiempo extremadamente breves (Fig. 1). Estas revelaciones tiene consecuencias de gran calado: la rápida transferencia de hielo de las capas de hielo continentales al mar puede provocar un espectacular crecimiento del nivel del mar.

FIGURA 1

Colapso de la Barrera de Hielo Larsen B en la Antártica Occidental.
En sólo 2 días se desintegraron 2000 km², de barrera de hielo



RS.1883-01

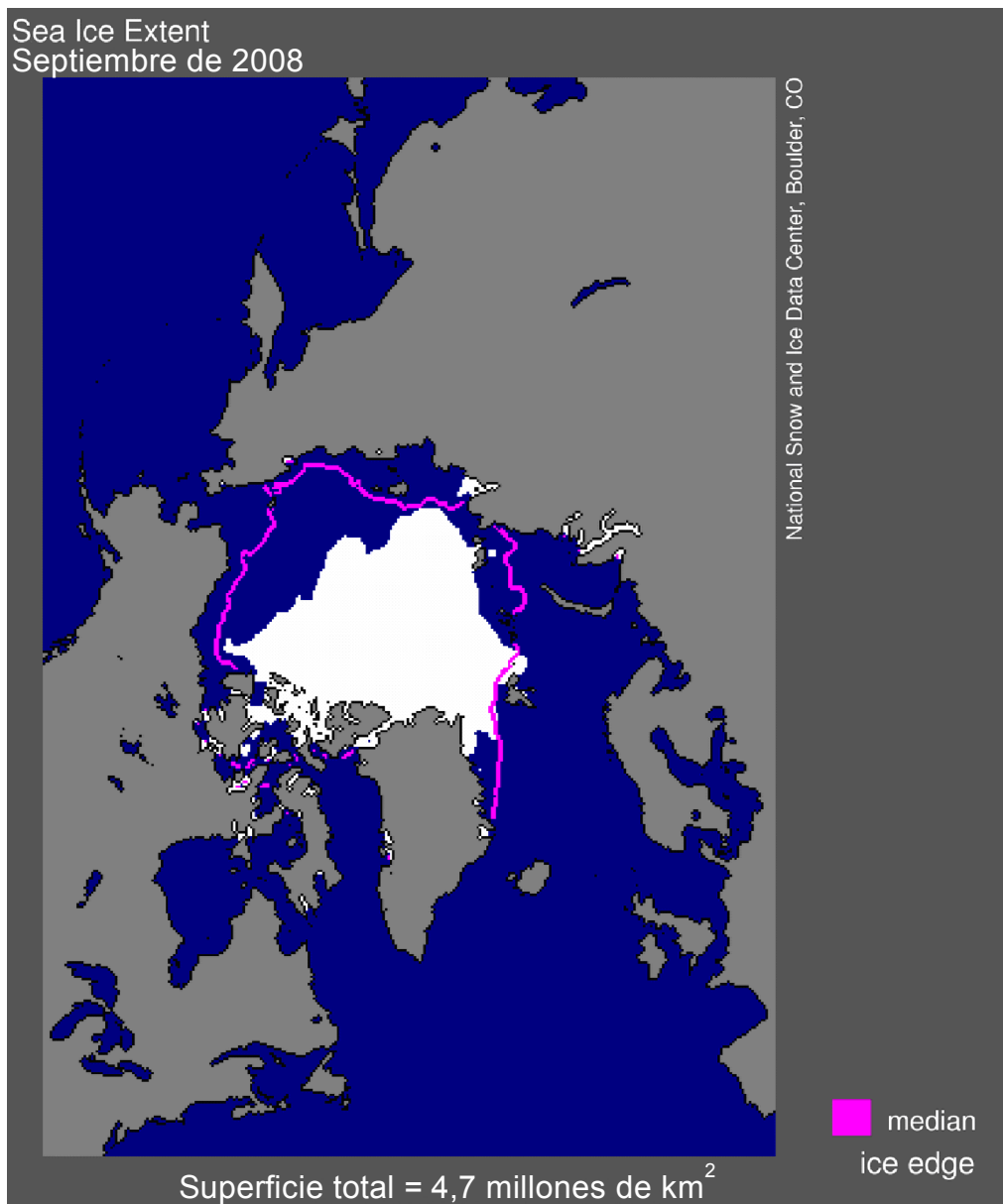
Fuente: *Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements*, p. 3, 2008, descargable desde URL: <http://www.nap.edu/catalog/11991.html>.

El hielo del mar ha sido continuamente supervisado desde 1979 mediante sensores de microondas pasivos (radiómetros de microondas de barrido electrónico (ESMR), radiómetros de microondas de exploración multicanal (SMMR), generadores de imágenes de microondas de sensor (SSM/I) y sistema de observación de la Tierra mediante radiómetros de exploración por microondas avanzado (AMSR-E)). Al no estar limitados por las condiciones meteorológicas o por los niveles de iluminación, son perfectamente adecuados para supervisar el hielo en el mar debido al intenso contraste en las emisiones de microondas entre el océano abierto y el océano cubierto de hielo. El conjunto de datos recopilado a lo largo de 35 años con estos sensores de microondas pasivos ha permitido realizar un análisis de las tendencias que va más allá de la fuerte variabilidad interanual del hielo del mar. Desde 2000, se ha observado en el Ártico unos mínimos en las cantidades de hielo en verano durante 4 de los últimos 6 años (Figs 2 y 3). Además, las indicaciones más recientes apuntan a que las extensiones del hielo en invierno están empezando a disminuir a una mayor velocidad,

posiblemente como resultado del calentamiento de los océanos asociado a una capa de hielo más delgada y menos extendida. Estas observaciones de la disminución del hielo en el Ártico son coherentes con los resultados del modelo climático que predicen un incremento del calentamiento en latitudes elevadas, que a su vez viene provocado en gran medida por el albedo del hielo. En contraste con el Ártico, no se ha detectado una tendencia clara en el volumen de la cobertura de hielo del Antártico.

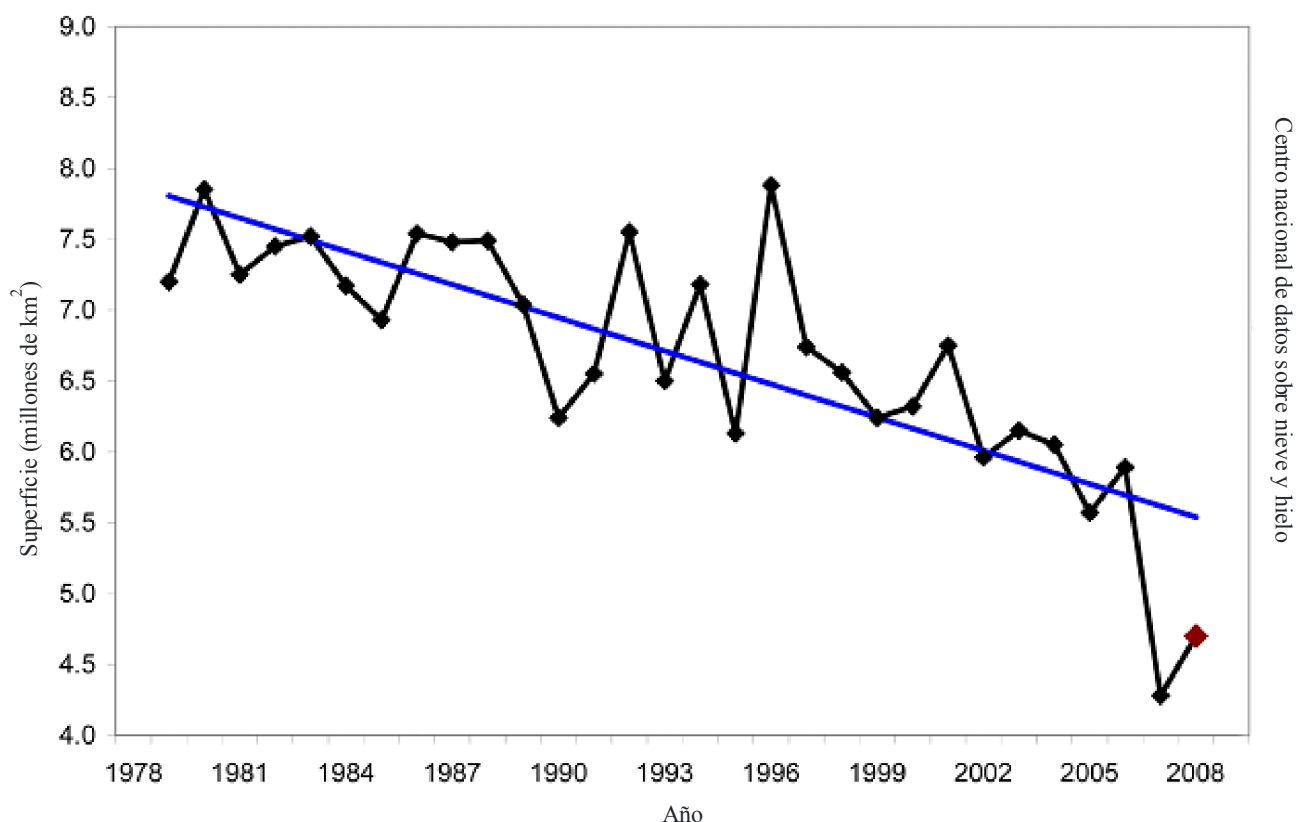
FIGURA 2

La superficie de hielo en el Ártico en 2008 era de 4,67 millones de km², que es el segundo nivel más bajo registrado desde un satélite. La línea de color magenta muestra el valor mediano de la extensión del hielo durante el mes de septiembre entre 1979 y 2000



RS.1883-02

Fuente: URL http://nsidc.org/news/press/20081002_seaice_pressrelease.html.



RS.1883-03

Fuente: URL http://nsidc.org/news/press/20081002_seaice_pressrelease.html.

En estos últimos años, cada vez son más numerosos los informes sobre previsión de las condiciones del hielo del mar y estos informes se basan enteramente, o casi, en datos procedentes de satélites. Por ejemplo, el programa de Evaluación del Impacto Climático en el Ártico (ACIA 2005) llegó a la conclusión de que una disminución continua en el hielo del Ártico puede desembocar a corto plazo en un Océano Ártico sin hielo en algunas estaciones del año, lo que aumentaría consiguientemente el tráfico de barcos en esa zona ya que las rutas marítimas a través del Océano Ártico son mucho más cortas que las rutas que atraviesan el Canal de Panamá o el Canal de Suez. Sin embargo, también hay cierta evidencia de que una reducción de la capa de hielo vendrá acompañada de una mayor variabilidad interanual, al menos en algunas regiones.

Comprender los cambios en las capas de hielo, el hielo del mar, los casquetes polares y los glaciares reviste gran importancia a la hora de pronosticar el cambio climático y predecir sus efectos. En particular, la disminución de las capas de hielo y su contribución al incremento del nivel del mar y los océanos fue identificado como el tercer «Acontecimiento del Año» más significativo en 2006, según la revista **Science**. Teniendo en cuenta el cambio climático previsto y el correspondiente incremento del nivel del mar, contar en el futuro con una cobertura polar por satélite servirá para satisfacer unas necesidades sociales fundamentales que no pueden cubrirse por ningún otros sistema de observación.

3 Los océanos

Los océanos ocupan aproximadamente el 71% de la superficie de la Tierra y desempeñan un papel fundamental en el sistema climático en varios aspectos. También constituyen un excelente indicador del cambio climático. Por ejemplo, la medición de los niveles del mar revela claves fundamentales para entender el calentamiento global.

Los cambios de la meteorología, del clima y del medio ambiente plantean unos retos muy serios a la humanidad. Enfrentarse a esos retos exige mejorar los sistemas de previsión meteorológica, especialmente en lo referente a las predicciones a medio y largo plazo. Si se tiene una clara idea de lo que va a suceder en los próximos 10 días, en los próximos meses, o incluso en la próxima estación del año, las personas y la industria pueden prepararse mejor para hacer frente a comportamientos meteorológicos inestables. Abordar estos retos también implica una mejor comprensión de los factores climáticos globales que provocan fenómenos tales como El Niño y La Niña en el Océano Pacífico, peligrosos huracanes y tifones y, especialmente, crecidas del nivel del mar.

Una clave importante para entender el comportamiento de los fenómenos que provocan el cambio en los patrones climáticos sólo puede obtenerse representando las variaciones en las condiciones de la superficie de los océanos en todo el mundo y utilizando los datos recogidos para desarrollar y ejecutar modelos poderosos del comportamiento de los océanos. Combinando los modelos oceánico y atmosférico, podemos realizar previsiones tanto a corto como a largo plazo con la precisión necesaria. El acoplamiento de los modelos oceánico y atmosférico es necesario para tener plenamente en cuenta la dinámica a menor escala (media distancia) de los océanos. Este acoplamiento de los citados modelos se ha convertido en una parte muy importante de las previsiones meteorológicas para periodos mayores de dos semanas. Los océanos también constituyen una parte importante del proceso del cambio climático y es ampliamente reconocido que una elevación del nivel del mar en todo el mundo es potencialmente una de las consecuencias más devastadoras del calentamiento global.

3.1 Temperatura de la superficie del mar y elevación media del nivel del mar

Una contribución importante para las ciencias del clima fue el registro a largo plazo de la temperatura de la superficie del mar (SST) mediante el radiómetro avanzado de muy alta resolución (AVHRR) incorporado en las series de satélites de observación por infrarrojo de TV (TIROS-N) y la serie de satélites NOAA. La SST se mide actualmente también mediante instrumentos de microondas pasivos. La SST es uno de los indicadores más importantes del cambio climático global y un parámetro vital para el establecimiento de modelos climáticos. Al ser el registro de datos oceanográficos más largo obtenido por teledetección, tiene una repercusión a escala mundial.

El registro de la SST ha demostrado el papel de los océanos en la variabilidad del clima regional y global y ha revelado importantes detalles sobre las corrientes oceánicas. Más del 80% del calentamiento total del sistema de la Tierra se almacena en los océanos y las corrientes oceánicas redistribuyen este calor en todo el planeta. El análisis de las tendencias de los registros de la SST ha ayudado a mejorar la comprensión de la intensa interacción entre clima y atmósfera en los trópicos, que también es responsable del fenómeno El Niño-Oscilación Austral (ENSO) en el océano Pacífico. Los avances en la comprensión del fenómeno ENSO, gracias a las observaciones por satélite de los vientos, las alturas y las temperaturas de la superficie marítima, han tenido una gran repercusión sobre las predicciones del clima y la meteorología regionales. Además, la intensidad de los huracanes ha estado vinculada a las temperaturas de la superficie del mar. En consecuencia, el conocimiento tanto de dichas temperaturas como de los propios huracanes se ha beneficiado de los estudios realizados utilizando datos procedentes de los satélites.

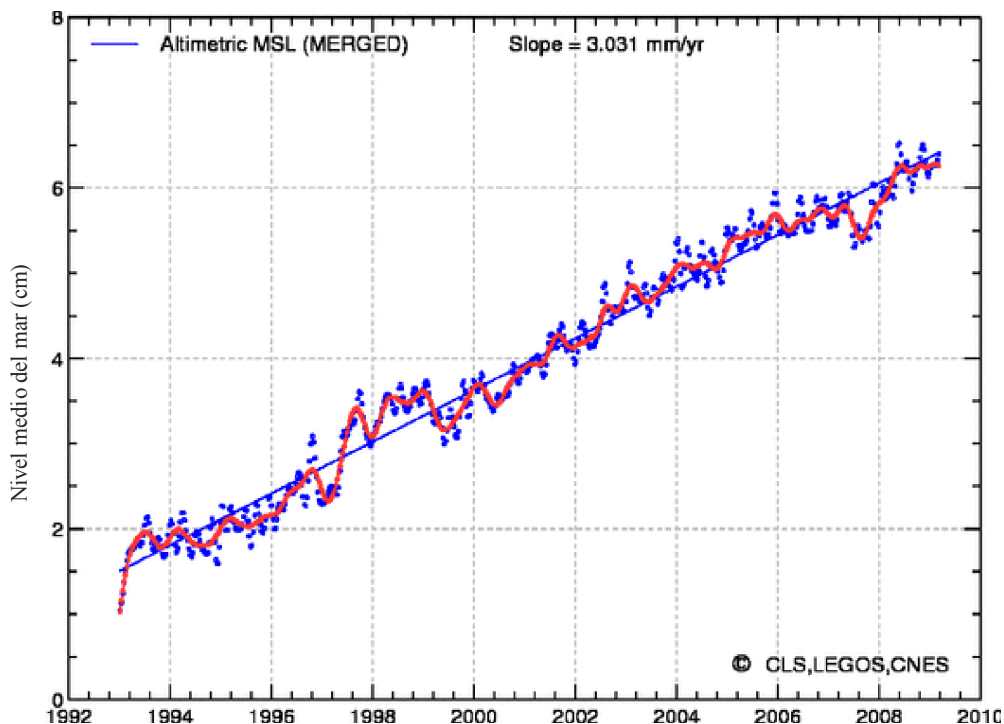
Además, la SST es fundamental en el acoplamiento del océano con la atmósfera y es un factor de control en el intercambio del calor y el vapor de agua entre ambos. El análisis de las tendencias de la SST ha puesto en evidencia el calentamiento global y la importante interacción entre el clima y la atmósfera en los trópicos, que también es responsable del fenómeno ENSO. Estas observaciones de la SST, combinadas con mediciones realizadas *in situ* de la temperatura vertical del océano hasta una profundidad de 3 000 m, han demostrado el origen antropogénico del calentamiento global de los océanos.

Comprender el incremento de la SST y la aportación del calor antropogénico a la superficie del océano también tiene consecuencias importantes a la hora de cuantificar y predecir la elevación del nivel del mar. El aumento del nivel medio del mar puede ser un signo de calentamiento global. La supervisión de este nivel es un aplicación de la altimetría y uno de los temas principales de las ciencias del medio ambiente del Siglo XXI.

Es bastante difícil separar la variabilidad natural del clima de los efectos del calentamiento global. Durante 15 años se han realizado mediciones de los niveles medios del mar a partir de observaciones realizadas desde satélites. Estas observaciones han sido coherentes y han producido una serie temporal precisa de observaciones por satélite. Sin embargo, dicho periodo de tiempo es corto. Además de ello, es necesario señalar que la perturbación producida por los seres humanos afecta también a la variabilidad natural del clima. Por tanto, las señales del cambio climático pueden detectarse únicamente si son mayores que la variabilidad natural de fondo. La detección del cambio climático a nivel mundial es mucho más exigente que la supervisión de las repercusiones a nivel regional.

Parte del incremento observado en el nivel del mar se debe al aumento de la temperatura del agua. El resto proviene de la fusión de los glaciares y de la fluctuación en el nivel de las aguas continentales. La Fig. 4 muestra que el aumento del nivel es de unos 3,3 mm/año, siendo aproximadamente de 5 cm en 15 años.

FIGURA 4
Elevación del nivel medio del mar



No obstante, el incremento medio del nivel del mar es sólo una parte de la historia. El aumento del nivel de los océanos no es ni mucho menos uniforme. En algunas regiones oceánicas el nivel del mar ha crecido (hasta 20 mm al año en algunos lugares), mientras que en otras ha disminuido una cantidad equivalente. Estas diferencias regionales, observadas por TOPEX/JASON desde 1993, reflejan principalmente las fluctuaciones del nivel del mar a lo largo de varios años.

Un problema importante es que la elevación de los niveles del mar puede inundar las regiones costeras de todo el mundo y puede llegar a sumergir completamente algunas islas que se encuentran a muy pequeña altura sobre el nivel del mar. Si bien se espera que este efecto no sea significativo sino a una gran escala de tiempo (décadas a siglos), los mapas topográficos levantados a partir de observaciones de satélite (mediante radares de apertura sintética tales como los de la Shuttle Radar Topology Mission y ópticamente a través de ASTER) pueden ayudar a identificar las zonas que son vulnerables.

Las mediciones de la temperatura de la superficie del mar no sólo han revelado información importante sobre la circulación de las corrientes oceánicas (por ejemplo, la corriente del Golfo) sino que también han logrado avances en la investigación del clima y las observaciones de la SST han conducido a nuevos descubrimientos sobre el acoplamiento físico-biológico en el océano, lo que tienen implicaciones importantes en el papel que juegan los océanos en el ciclo del carbono.

Las observaciones realizadas por satélite constituyen el único medio para estimar y supervisar el cometido de la biomasa oceánica como sumidero del carbono. En particular, la cuestión fundamental de si la captación del carbono biológico está cambiando o no como consecuencia del cambio climático sólo puede abordarse realizando mediciones desde satélites. Requiere no solamente mediciones del color del océano (biomasa y productividad del fitoplancton) sino también observaciones coincidentes desde el espacio del entorno físico del océano (circulación y mezcla), intercambios tierra-océano (a través de ríos y marismas) y otros factores tales como vientos, mareas y captación de energía solar la superficie de los océanos. La observación de vínculos entre el entorno físico y químico y la biología del océano es un logro significativo de las observaciones efectuadas desde el espacio.

3.2 Humedad del suelo y salinidad del océano

La evaporación, la infiltración y la recarga de las aguas subterráneas normalmente se produce a través de la zona de aireación no saturada que se extiende desde la parte superior de la superficie terrestre hasta la zona acuífera. La zona donde se encuentran las raíces de la vegetación, donde ésta capta el agua, está en la zona de aireación y constituye la interfaz entre la vegetación y el sistema hidrológico. La cantidad de agua disponible en la vegetación controla la transpiración y la fotosíntesis de las plantas y, por consiguiente, la retención del CO₂. La cantidad de agua en la zona de aireación está también directamente relacionada con la capacidad de drenaje del suelo tras una precipitación de lluvia. Los esquemas de transferencia suelo-vegetación-atmósfera (SVAT) utilizados en meteorología e hidrología están diseñados para describir los procesos de evaporación básicos en la superficie y la repartición del agua entre la transpiración de la vegetación, el drenaje, la escorrentía superficial y el contenido de humedad del suelo. En los modelos SVAT debe indicarse un valor realista inicial de la cantidad de agua en la zona

Cuando se trata de suelos desnudos o con vegetación muy dispersa, la tasa de evaporación y escorrentía puede calcularse a partir de las series temporales de valores de la humedad de la superficie del suelo. Si se trata de superficies cubiertas de vegetación, debe tenerse en cuenta la cantidad de agua en la vegetación (profundidad óptica de la vegetación). La propia profundidad óptica de la vegetación puede ser un parámetro muy útil para controlar la dinámica de la vegetación.

El conocimiento de la distribución de la sal (salinidad) en todos los océanos del mundo y su variabilidad anual e interanual son datos fundamentales para comprender el papel de los océanos en

el sistema climático. La salinidad es muy importante a la hora de determinar la densidad del océano y, por consiguiente, la circulación termohalina. La salinidad del océano está también ligada al ciclo del carbono oceánico, pues juega un papel importante en el establecimiento del equilibrio químico, que a su vez regula la captación y liberación de CO₂. Por tanto, la integración de las mediciones de la salinidad de la superficie marítima en los modelos bio-geo-químicos oceánicos globales debe mejorar las estimaciones realizadas sobre la absorción de CO₂ por los océanos.

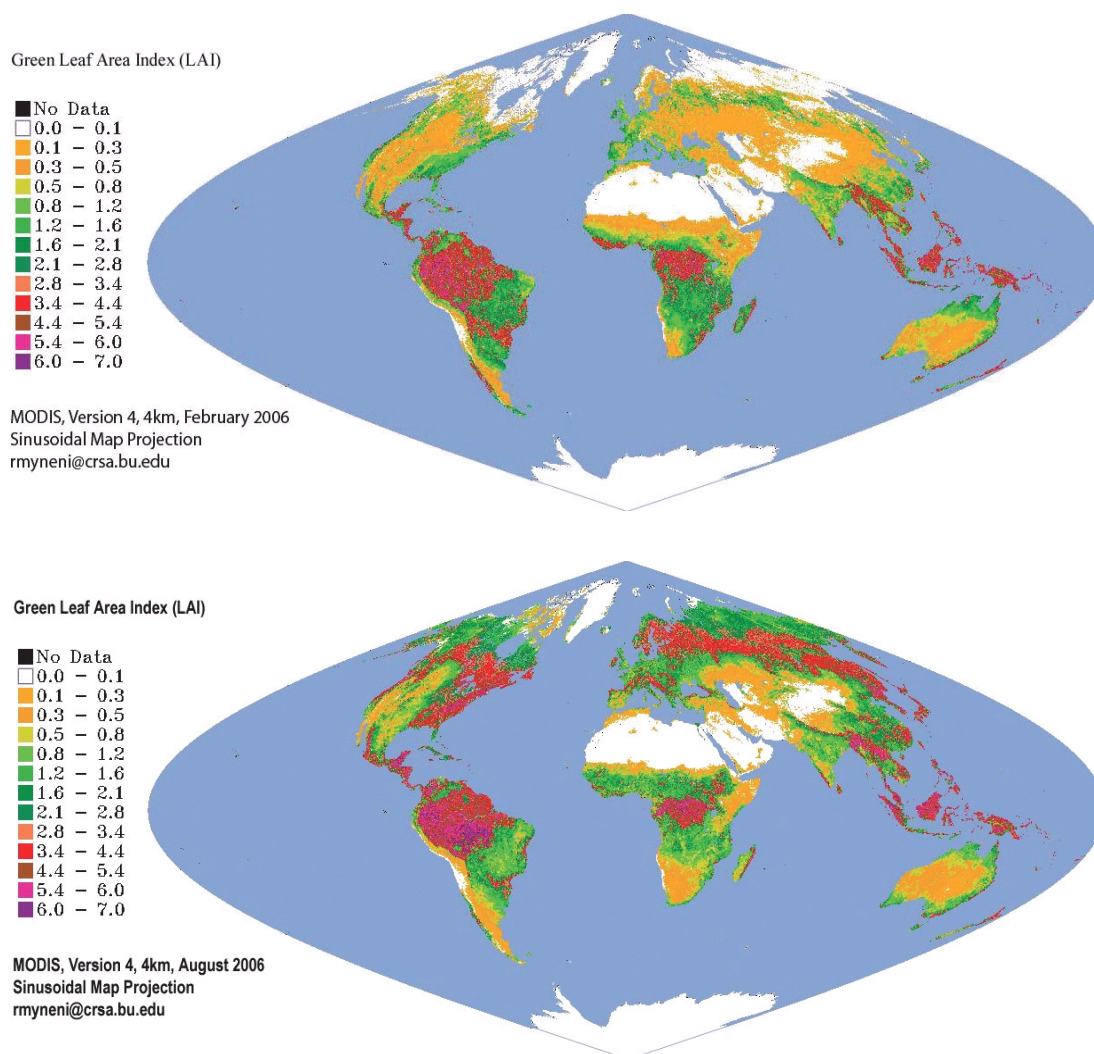
La misión del satélite SMOS es supervisar la humedad del suelo conjuntamente con la misión SMAP y la salinidad de los océanos conjuntamente con la misión Aquarius.

4 La biosfera

La supervisión por satélite de la dinámica de la vegetación de la Tierra es esencial para entender el funcionamiento del ecosistema mundial y responder a la variabilidad climática y al cambio climático. Con el instrumento MODIS en los satélites TERRA y AQUA, estas observaciones (Fig. 5) han alcanzado más precisión ampliándolas a las mediciones biofísicas.

FIGURA 5

Índices de hoja fresca obtenidos con MODIS mostrando cambios estacionales en la vegetación



RS.1883-05

Fuente: *Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements*, p. 75, 2008, descargable desde URL: <http://www.nap.edu/catalog/11991.html>.

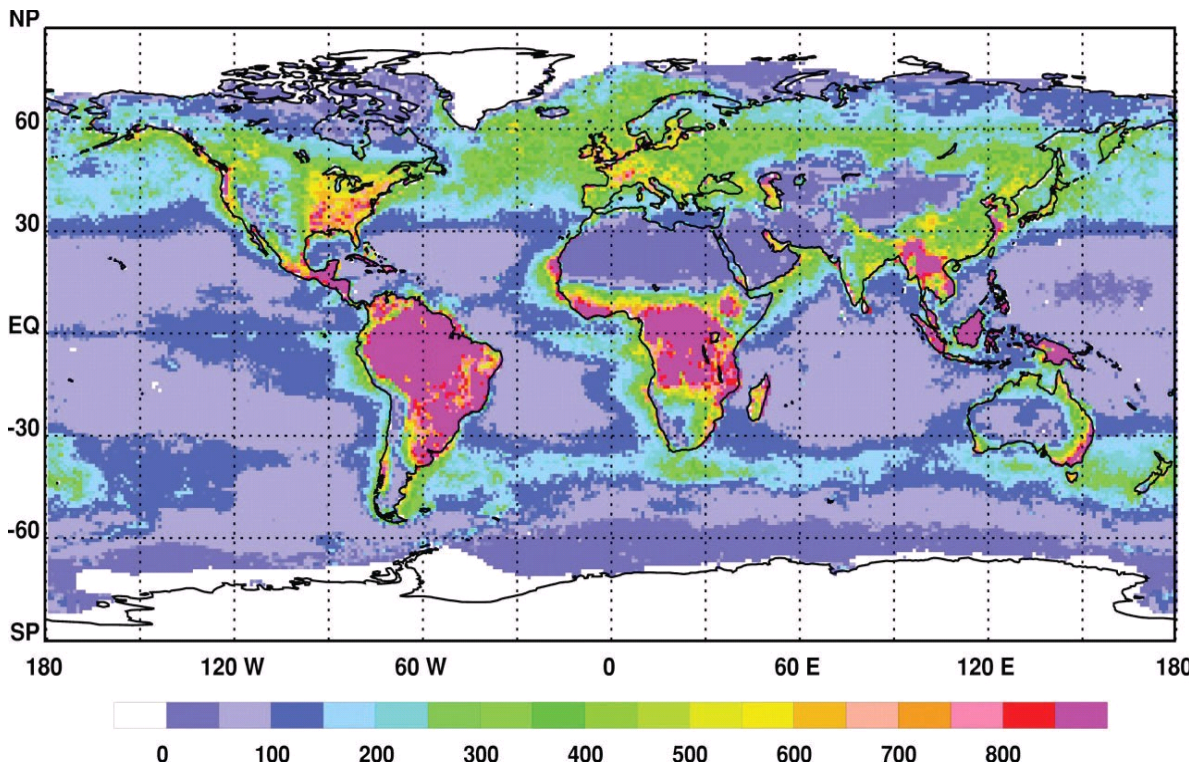
Los estudios sobre el cambio climático también se han aprovechado de la investigación llevada a cabo por satélite de ciclo del carbono y las fluctuaciones de energía en la Tierra.

La productividad primaria neta (PPN) se define como el flujo neto de carbono de la atmósfera a las plantas verdes por unidad de tiempo. Las observaciones por satélite de la PPN han supuesto una enorme contribución a la comprensión fundamental de la repercusión del cambio climático sobre la biosfera. La PPN viene influenciada por controles climáticos y bióticos que interactúan entre sí. La contribución de la tierra y del océano a la PPN es casi igual (Fig. 6), pero se produce una sorprendente variabilidad en la PPN a nivel local. Como los ciclos de vida del fitoplancton son varios órdenes de magnitud más cortos (días en vez de años o décadas) que los de las plantas terrestres, el fitoplancton puede responder a la influencia del clima en la circulación de los océanos, la combinación y el suministro de nutrientes y de luz mucho más rápidamente que las plantas situadas en ecosistemas terrestres. Por consiguiente, cabe esperar que la componente oceánica (aproximadamente la mitad) del ciclo del carbono responda más rápidamente a los cambios climáticos.

FIGURA 6

PPN anual mundial (en gramos de carbono/m²/año) para la biosfera, calculada a partir del modelo integrado CASA-VGPM (modelo de producción generalizado verticalmente). Los datos de partida para el color de los océanos obtenidos del sensor CZCS se promediaron entre 1978 y 1983

El índice de vegetación terrestre obtenido por sensores del AVHRR es el valor medio de 1982 a 1990



RS.1883-06

Fuente: *Earth Observations from Space: the First 50 Years of Scientific Achievements*, p. 77, 2008, descargable desde URL: <http://www.nap.edu/catalog/11991.html>.

Lanzado en 1978, el Coastal Zone Colour Scanner (CZCS) (explorado cromático de las zonas costeras) ha demostrado que la productividad del océano puede observarse utilizando bandas visibles y casi infrarrojas; no obstante, las mediciones del CZCS resultaron saturadas sobre tierra y, en consecuencia, fueron inutilizables.

El AVHRR instalado en los satélites meteorológicos en órbita polar de la Administración Nacional de los Océanos y la Atmósfera (NOAA) ha obtenido un registro continuo de observaciones globales diarias desde 1978, en las bandas del rojo y casi infrarrojas. El conjunto de datos diarios obtenidos por el AVHRR abarca actualmente más de 25 años y es el registro global continuo más largo disponible de la productividad terrestre, la fenología (estudio de los ciclos periódicos en la vida de las plantas y los animales y la forma en que resultan influenciados por las variaciones climáticas estacionales e interanuales), y el cambio en el ecosistema para supervisar la respuesta de la biosfera a las modificaciones y la variabilidad climáticas.

Aunque el AVHRR no fue diseñado para supervisar el clima, las continuas mejoras en la calibración y análisis han dado lugar a un registro sólido para supervisar y evaluar las repuestas de la biosfera pasadas y futuras resultantes del cambio climático y la variabilidad de las actividades antropogénicas.

Un tema que suscita preocupación es el efecto del cambio climático sobre la agricultura. A medida que el clima se calienta, el periodo de crecimiento se alarga y las regiones septentrionales pasan a ser más productivas mientras que las regiones meridionales, sometidas a un intenso calor, pierde productividad. La productividad agrícola ha sido controlada desde el espacio durante décadas. El índice de diferencia normalizada de vegetación (NVDI) tiene la propiedad de oscilar entre -1 y $+1$, presentando valores en torno a $+1$ cuando se observa vegetación verde. Técnicamente, el NVDI es el dato del casi infrarrojo menos el dato del rojo (visible) dividido por la suma de ambos.

En la pasada década, los datos del NVDI obtenidos por el AVHRR se convirtieron en un componente crítico para supervisar el cambio climático, evaluando la duración y la temporización del cambio durante el periodo de crecimiento y supervisando el estado de la biosfera y otros fenómenos del ecosistema. Los registros llevados a cabo durante largo tiempo del NVDI han puesto en evidencia que este parámetro creció en respuesta a un calentamiento climático durante los años 80 y principio de los 90, pero esta tendencia se ha equilibrado recientemente. Los cambios en el NVDI planetario (verdor) han estado estrechamente relacionados con la dinámica diaria de la radiación activa terrestre interceptada fotosintéticamente y las concentraciones de CO_2 atmosférico. Existe una fuerte correlación negativa entre el NVDI y el CO_2 atmosférico de tal forma que el NVDI es elevado cuando las concentraciones de CO_2 son bajas y viceversa. Este comportamiento temporal en las fotosíntesis y en la respiración del ecosistema demuestra el acoplamiento dinámico existente entre la biosfera y la atmósfera.

5 Conclusión

Los sensores a bordo de satélites han proporcionado datos fundamentales para poder comprender mejor el comportamiento del planeta y los efectos del cambio climático. Como esa instrumentación continúa ofreciendo datos esenciales, debe protegerse en el futuro.

Anexo 2

Estado de las observaciones de las principales variables climáticas y factores determinantes

El siguiente resumen de la situación actual de las observaciones desde el espacio (y en algunos casos, soportadas en tierra) de las variables climáticas críticas, se ha extraído el Informe del Consejo de Investigación Nacional de Estados Unidos de América – Ciencias de la Tierra y sus Aplicaciones desde el Espacio, National Academic Press, Washington DC, 2007 (Cuadro 9.A.1, págs. 298-303).

Este documento está disponible en la dirección: <http://www.nap.edu/catalog/11820.html>.

El Informe indica que:

«aunque el cuadro proporciona una perspectiva válida, debe reconocerse que tiene limitaciones:

- 1) en algunos casos, presenta listas de variables que pueden obtenerse mediante varias técnicas, pero no se indican todas las técnicas;
- 2) se limita a observaciones desde satélites que se encuentran en órbita terrestre baja, aunque un cierto número de los objetivos indicados también pueden obtenerse a través de recuperaciones con imaginería multiespectral y datos de sondas desde plataformas situadas en la órbita de los satélites geoestacionarios y en otras órbitas;
- 3) pocas observaciones espaciales pueden considerarse por derecho propio como mediciones físicas, y a menudo las interpretaciones se revisan puesto que se realizan más comparaciones entre las interferencias basadas en observaciones espaciales y mediciones alternativas de las variables físicas.»

Los números que aparecen entre paréntesis se refieren a variables climáticas esenciales indicadas en el Apéndice 1 del GCOS (Sistema Mundial de Observación del Clima), 2003. Este documento es el segundo Informe sobre la pertinencia de los sistemas mundiales de observación del clima en apoyo del UNFCCC GCOS-82, OMM, Doc. Técnico 1143.

Las Misiones 1, 2, 3 y 4 se refieren a misiones que se desea realizar y no a misiones actualmente planificadas. La quinta columna del cuadro original se ha omitido puesto que sigue fuentes de datos internos.

**Resumen relativo al cambio climático y variabilidad
del estado de las principales variables climáticas
y factores determinantes**

Medición	Estrategia	Estado actual	Seguimiento
Irradiación solar (1.2)	Medición directa	SORCE lanzado en 2003; Glory (sólo TIM) 2008	NPOESS TSIS-GFE
Balance de radiación de la Tierra	Imaginería multiespectral combinada con radiómetro de banda ancha: Identificación de escena, parte superior de los flujos atmosféricos	MODIS/CERES sobre Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS/CERES sobre NPOESS, C1 (2013), Misión 2
Balance de radiación de la superficie	Imaginería multiespectral combinada con radiómetro de banda ancha: Identificación de escena, parte superior de los flujos atmosféricos, modelo de transferencia radiante	MODIS/CERES sobre Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS/CERES sobre NPOESS, C1 (2013) Misión 2
	Radiómetro de superficie: ARM, BSRN, CMDL, SURFRAD emplazamientos dispersos		
Aerosoles troposféricos (1.3): distribución geográfica y vertical de los aerosoles, profundidad óptica, tamaño, forma, albedo de dispersión sencilla	Imaginería multiespectral: Proporciona profundidad óptica, alguna inferencia de tamaño sobre océanos y superficies oscuras	AVHRR desde 1981 (NOAA 7), actualmente sobre NOAA 17, 18, 19; VIRS en TRMM (1997) MODIS, MISR en Terra (2000), MODIS en Aqua (2002)	VIIRS sobre NPP, NPOESS
	Radiómetro-imaginería UV: Proporciona profundidad óptica, alguna inferencia de absorción en capas de aerosoles elevadas	OMI sobre AURA (2004) OMPS sobre PPN (2010)	OMPS sobre NPOESS, C3 Misión 1
	Polarímetros: Proporciona profundidad óptica, tamaño, forma, albedo de dispersión sencilla	POLDER en PARASOL (2005) APS en Glory (2008) limitado a seguimiento subsatelital en superficie	APS en NPOESS, C3 Misión 1
	Lidar: Proporciona papel vertical de concentración aerosoles, alguna inferencia de forma y tamaño	CALIPSO (2006)	Misión 1
	Radiómetros multiespectrales de superficie	AERONET, ARM	VIIRS en NPOESS, Misión 1
	Mediciones de flujo de banda ancha en la superficie y en la Tierra	CERES en Terra (2000), Aqua (2004) combinado con BSRN, ARM, SURFRAD sites	CERES en NPOESS, Misión 2

Medición	Estrategia	Estado actual	Seguimiento
Propiedades del aerosol estratosférico, profundidad óptica, tamaño, forma, albedo de dispersión sencilla (1.3)	Mediciones del limbo y ocultación solar: Perfil de extinción del aerosol	HIRDLS en Aura, radiómetro infrarrojo; SAGE II en ERBS (1984-2006); SAGE III en Meteor (2002-2006) SciSat (Canadá-EE.UU.)	Ninguno
	Luz dispersa en el limbo: Perfil de la profundidad óptica del aerosol		OMPS en PPN (2010), NPOESS
	Lidar: Perfil vertical de concentración de aerosoles, alguna inferencia de forma y tamaño	CALIPSO (2006)	Misión 1
Propiedad de las nubes (1.2): distribución geográfica y vertical, radio electivo de las gotas de agua, hábitat y tamaño del cristal de la nube de hielo, relación combinada en fase del agua-hielo en la nube, tamaño del hidrometeoro y profundidad óptica visible, cantidades de líquido en la nube y de agua en el hielo	Imaginería multiespectral: Propiedad de una sola capa de nubes efectiva	AVHRR desde 1981 (NOAA 7), actualmente en NOAA 17, 18, 19 inferencias del tamaño del hidrometeoro pero no VIRS en fase sobre TRMM; MODIS sobre Aqua y Terra proporciona inferencia de la fase de los hidrometeoros	VIIRS en NPP, NPOESS proporcionan inferencia de la fase de los hidrometeoros
	Radiómetros de múltiples vistas, polarímetros	MISR en Terra, altitud de la nube a partir de la imaginería estéreo POLDER en PARASOL, tamaño y fase del hidrometeoro a partir del polarómetro APS en Glory (2008), fase a través de la polarimetría	APS en NPOESS, fase del hidrometeoro C3 a partir de la polarimetría
	Sondas de 15 μm , imaginería: Presión de la capa de nubes para un sistema de nubes de una sola capa efectiva, incluso cirros ópticamente delgados	HIRS en NOAA 17, 18, 19; MODIS en Terra, Aqua AIRS en Aqua (2002)	CrIS en NPOESS
	Imaginería por microondas: Inferencia del agua líquida en las nubes sobre los océanos	SSM/I en DMSP TMI en TRMM, AMSR-E en Aqua, CMIS en NPOESS	
	Lidar: Límite superior, extinción para nubes ópticamente delgadas con polarización, fase de partículas	CALIPSO (2006)	Misión 1
	Radares de nubes: Límites de las nubes, distribución vertical del agua líquida, índice de llovizna cuando la precipitación es ligera	CloudSat (2006)	Misión 1

Medición	Estrategia	Estado actual	Seguimiento
Ozono: Estratósfera, tropósfera (1.3)	Radiómetro-imaginería UV: Proporciona el ozono en la columna estratosférica, perfiles aproximados de resolución vertical del ozono estratosférico	OMI en Aura (2004)	OMPS Nadir en PPN (2010), NPOESS, C3
Traza de gases para control del ozono (HCl, N ₂ O, CH ₄ , H ₂ O, HNO ₃)	Sondas infrarrojas: Proporciona perfiles verticales del ozono troposférico y estratosférico	HIRDLS en Aura; TES en Aura también proporciona observación del limbo (no se emplea desde 2005); AIRS en Aqua (2002)	Ninguno
	Sondas de limbo en microondas: Proporciona el perfil vertical del ozono estratosférico	MLS en Aura	Ninguno
CO ₂ (1.3)	Espectrómetro cerca del IR: Concentraciones en la columna de alta precisión del CO ₂	OCO (2008); el objetivo es lograr la precisión suficiente para poder determinar las fuentes y sumideros; redes de superficie (WMO GAW, NOAA, AGAGE)	Ninguno
	Sondas de infrarrojo	AIRS en Aqua (2002)	Ninguno
CH ₄ (1.3)	Espectrómetro de infrarrojo: Concentraciones en la columna de alta precisión del CH ₄	TES en Aura; redes de superficie (WMO GAW, NOAA, AGAGE)	Ninguno
	Sondas de infrarrojo	AIRS en Aqua (2002)	Ninguno
Cubierta de la superficie de la Tierra y albedo en la superficie (3) (cubierta de nieve, glaciares, hielo, casquetes de hielo cubiertos posteriormente)	Imaginería multiespectral: Índice de vegetación, inferencia del albedo en la superficie	AVHRR en NOAA 17, 18, 19: inferencias de albedos espectrales corregidos atmosféricamente; MODIS en Terra (2000), Aqua (2002); series Landsat	VIIRS en PPN (2010), NPOESS
	Imaginería hiperespectral: Tipos de vegetación, cubierta de la Tierra	Hyperion (EO-1)	Misión 1
Temperatura (1.2): Perfiles verticales	Sondas de infrarrojo en microondas: Perfiles verticales de la temperaturas de capas	HIRS/MSU desde 1979 actualmente en NOAA 17, 18, 19; SSM/I en DMSP (1995, 1997, 1999); AIRS/AMSU en Aqua (2002)	CrIS, ATMS en PPN (2010), NPOESS
	Ocultancia radioeléctrica GPS: Perfiles verticales con resolución de 0,5 a 1 km cerca de la superficie	GPS en CHAMP (2000), COSMIC (2006)	Misión 2
	Red de superficie: Perfiles de temperatura de la radiosonda red de sondas WMO (1959)		

Medición	Estrategia	Estado actual	Seguimiento
Vapor de agua (1.2): Cantidad en la columna, papeles verticales	Imaginería por microondas: Cantidad de vapor de agua en la columna sobre los océanos	SSM/I en satélites polares DMSP (1995, 1997, 1999)	ATMS en PPN (2010), MIS en NPOESS
	Imaginería multiespectral: Cantidad en la columna de los canales de vapor de agua cerca del infrarrojo	MODIS en Terra (2000), Aqua (2002)	Ninguno
	Sondas de infrarrojo: Volumen de la capa de vapor de agua con una resolución vertical relativamente aproximada en la troposfera	Datos HIRS desde 1979 (TIROS-N), actualmente en NOAA 17, 18, 19	CrIS en PPN (2010), NPOESS
	Radiómetro de infrarrojo con alta resolución espectral: Volumen de la capa de vapor de agua con una resolución vertical más precisa en la tropósfera	AIRS en Aqua (2002); TES en Aura (2004)	CrIS en PPN (2010), NPOESS
	Radiómetros de infrarrojo de exploración del limbo por microondas: Volumen de la capa de vapor de agua en la tropósfera superior y en la estratósfera	TES, MLS en Aura (2004)	Ninguno
	Ocultancia radioeléctrica GPS: Perfiles de temperatura, vapor de agua con una resolución vertical de hasta unos 0,5 km cerca de la superficie	CHAMP (2000), COSMIC (2007)	Misión 2
	Red de superficie: Perfiles de vapor de agua de la radiosonda, red de sondas WMO (1959)		
Perturbación por fuego (3)	Imaginería térmica cerca del infrarrojo: Detección con elevada resolución espacial de focos de incendios	AVHRR datos desde 1981 (NOAA 7), actualmente en NOAA 17, 18, 19; MODIS en Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS en PPN (2010), NPOESS
Biomasa terrestre, fracción de radiación activa fotosintéticamente	Imaginería multiespectral: Índice de vegetación, inferencia de FAPAR	AVHRR datos desde 1979 (NOAA 6), actualmente en NOAA 17, 18, 19; MODIS en Terra (2000), Aqua (2002); SeaWiFS	VIIRS en PPN (2010), NPOESS Misión 1
(FAPAR) (3)	Radar: Cobertura terrestre para retrodispersión del radar en banda C	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), datos disponibles comercialmente	Ninguno

Medición	Estrategia	Estado actual	Seguimiento
Glaciares, hielo en el mar, casquetes de hielo (3)	Imaginería multiespectral: Cobertura de zona	AVHRR datos desde 1979 (TIROS-N), actualmente en NOAA 17, 18, 19; MODIS en Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS en PPN (2010), NPOESS
	Imaginería por microondas: Cobertura de zona	SSM/I en DMSP (1995, 1997, 1999); AMSR-E en Aqua; TMI en TRMM (1997) MIS en NPOESS	
	Radars: Zona y flujo de hielo, espesor del hielo marítimo obtenido a partir de datos topográficos	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), datos disponibles comercialmente	Misión 3
	Lidar: Elevación del hielo	GLAS en ICESat (2003)	Misión 1
	Satélite de gravedad: Masa de hielo combinada con mediciones topográficas	GRACE (2002)	Seguimiento por GRACE
Permafrost, suelo congelado estacionalmente (3) Cubierta de nieve (y equivalente de agua de nieve) (3)	Radars combinados con radiómetros de microondas: Combinación de agua, rugosidad y topografía para proporcionar el equivalente de agua de nieve	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), datos disponibles comercialmente	No se ha previsto un seguimiento
Aguas subterráneas (3)	Imaginería por microondas: Humedad del suelo salvo en las zonas cubiertas por hielo-nieve y zonas de fuerte densidad de vegetación	SSM/I en DMSP (1995, 1997, 1999); AMSR-E en Aqua (2002), MIS en NPOESS	
	Satélite de gravedad: Aguas subterráneas a gran escala (exige observaciones auxiliares <i>in situ</i>)	GRACE (2003)	Seguimiento por GRACE
Niveles de los lagos (3)	Imaginería multiespectral de alta resolución: Zonas lacustres	Landsat 7 (1999)	LDCM
	Radars: Zona lacustre	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), datos disponibles comercialmente	No se ha previsto un seguimiento
	Lidar: Elevación de las aguas superficiales	GLAS en ICESat (2003)	Misión 1
Descarga de ríos (3)	Imaginería de alta resolución: Lagos, zonas de ríos	Landsat 7 (1999)	LDCM
	Altímetro Lidar: Niveles de los ríos	ICESat (2002)	Misión 1
	Radar: Lagos, zonas de ríos	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), datos disponibles comercialmente	No se ha previsto un seguimiento

Medición	Estrategia	Estado actual	Seguimiento
Índice de zona de hojas (LAI) (3)	Imaginería multiespectral: Índice de vegetación	AVHRR, datos desde 1981 (NOAA 6), actualmente en NOAA 16, 17, 18; MODIS en Terra (2000), Aqua (2002); MISR en Terra (2000); SeaWiFS (1997); VIIRS en NPP (2010)	VIIRS en NPOESS
	Imaginería multiespectral con alta resolución espacial: Índice de vegetación a mayor resolución espacial	Landsat 7 (1999); ASTER en Terra (2000); EO-1	LDCM; Misión 1
Nivel del mar	Altímetro: Altura de nivel del mar oceánico	Jason 1 (2001) GFO	ALT en NPOESS, Misión 4; seguimiento GRACE
	SAR: Superficie de zonas costeras	RADARSAT 1 (1995), RADARSAT 2 (2007), datos disponibles comercialmente	Ninguno
Estado del mar (2.1), viento en la superficie (1.1)	Imaginería por microondas: Velocidad del viento en la superficie	SSM/I en DMSP (1995, 1997, 1999); AMSR-E en Aqua (2002) MIS en NPOESS	
	Dispersímetro : Vector velocidad del viento	QuikSCAT (1999); ASCAT en MetOp	ASCAT en MetOp, Misión 4
Color del océano (2.1)	Imaginería multiespectral con capacidades UV-azul: Radiancias de la superficie	SeaWiFS (1997); MODIS en Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS en PPN (2010) y NPOESS
Superficie del océano (2.1), temperatura bajo la superficie (2.2)	Imaginería multiespectral: Temperatura bajo la superficie	AVHRR, datos desde 1981 (NOAA 7), actualmente en NOAA 16, 17, 18; VIRS en TRMM (1997); MODIS en Terra (2000), Aqua (2002)	VIIRS en PPN (2010) y NPOESS
	Sondas de infrarrojo por microondas: Temperatura bajo la superficie	AVHRR en NOAA 16, 17, 18 AIRS; AMSR-E en Aqua (2002); MODIS en Aqua (2002), Terra (1999)	CrIS/ATMS en PPN (2010); MIS en NPOESS
	Flotadores perfiladores fungibles: Perfiles de temperatura, temperatura a la profundidad de flotación neutra, superficie	Flotadores ARGO	
Superficie del océano (2.1), salinidad bajo la superficie (2.2)	Radiómetro de microondas y dispersímetro: Salinidad en la superficie, rugosidad del océano		AQUARIUS (2010)
	Flotadores perfiladores fungibles: Perfiles de salinidad, salinidad a la profundidad de flotación neutra	Flotadores ARGO	

Medición	Estrategia	Estado actual	Seguimiento
Superficie del océano (2.1), salinidad en las corrientes (2.2)	Altímetro: Altura de la superficie del océano a partir de la cual se producen las corrientes	Jason 1 (2001)	ALT en NPOESS, Misión 4
	Satélite de gravedad: Desplazamientos de masa bajo la superficie o barotrópicas (calculados junto con las mediciones del altímetro de superficie)	GRACE (2002)	Seguimiento GRACE
	Flotadores perfiladores fungibles: Deriva de posición a una profundidad de flotación neutra (y superficie con algunas precauciones)	Flotadores ARGO	
Fitoplancton bajo la superficie (2.2)			
Precipitación (1.1)	Imaginería por microondas: Intensidad de lluvia sobre los océanos	SSM/I en DMSP (1995, 1997, 1999); TMI en TRMM (1997); AMSR-E en Aqua (2002) MIS en NPOESS, GPM (2012)	
	Radar de precipitación: Estructura vertical de las intensidades de lluvia	TRMM (1997)	GPM (2012)
	Radar de nubes: Intensidad de llovizna ligera	CloudSat (2006)	Misión 1