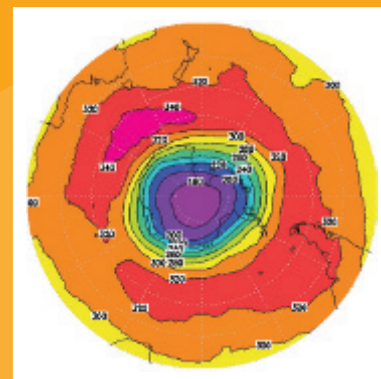


# Una estrategia en pro de una arquitectura para la vigilancia del clima desde el espacio



CMA

por Tillmann Mohr<sup>1</sup> y Mark Dowell<sup>2</sup>

*Ilustración: El satélite FY-3A de la Administración Meteorológica de China proporciona datos para la estimación de la columna de ozono total mensual sobre la Antártida.*

La demanda de servicios climáticos se ha incrementado considerablemente en las últimas décadas. Los principales intereses del sector público y privado como son los seguros, la agricultura, la sanidad pública, la energía y el transporte tienen una necesidad fundamental de información y de servicios climáticos fidedignos sobre la que basar los planes estratégicos, las inversiones y las decisiones cotidianas. El Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC) proporciona un contexto para el desarrollo de dichos servicios.

El MMSC reconoce que un sistema fuerte de observación y vigilancia, o “pilar” como lo define el Plan de ejecución del Marco Mundial para los Servicios Climáticos, constituye una base crítica para los servicios climáticos a nivel mundial, regional y nacional. El suministro de un mayor número de datos de observación y de mayor calidad, junto con los avances de la ciencia climática, mejorarán la predicción de episodios extremos tales como las sequías, las crecidas y los ciclones tropicales. Unas mejores predicciones de estos fenómenos, así como estar preparados para ellos, ayudará a salvar vidas, a proteger bienes y a mejorar la capacidad de recuperación económica y el bienestar y la seguridad públicas.

Una parte importante de las observaciones necesarias solo se puede obtener de manera sinóptica mediante sistemas por satélite. Los grandes centros de predicción numérica del tiempo de todo el mundo utilizan ya hasta 80 millones de observaciones de satélite al día en el marco de la Vigilancia Meteorológica Mundial, sin embargo las predicciones climáticas requerirán muchos más. De hecho, los requisitos de observación del MMSC constituyen uno de los principales motores para mejorar la arquitectura para la vigilancia del clima desde el espacio (aunque el anuncio para esta mejora fue anterior al Plan de ejecución del MMSC). En 2011, el Decimosexto Congreso Meteorológico Mundial decidió

“... que se debería desarrollar una arquitectura que proporcione una estructura para la vigilancia sostenida y coordinada del clima de la Tierra desde el espacio”.

Una gran parte de las capacidades de observación necesarias para la vigilancia del clima están ya disponibles o planificadas. Sin embargo subsisten algunas deficiencias fundamentales y el sistema en su conjunto se debe articular mejor para garantizar que es eficiente y robusto y que puede respaldar de manera eficaz las aplicaciones climáticas y la toma de decisiones relacionadas.

## **El aumento de las capacidades de los satélites**

Los debates que se vienen manteniendo hoy en día acerca de la vigilancia del clima son muy parecidos a los que se desarrollaron sobre una “arquitectura” coordinada a nivel mundial para la vigilancia meteorológica cuando se creó la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM) en 1963, los cuales han conducido con éxito al sistema meteorológico, coordinado a nivel mundial, de que se dispone hoy en día. Desde la creación de la VMM se han llevado a cabo unas 240 misiones de satélites medioambientales como parte importante del sistema de observación mundial. Las diversas tecnologías de los instrumentos de a bordo han permitido la observación de la Tierra a través de un amplio rango de frecuencias del espectro electromagnético. En la actualidad hay más de 160 satélites meteorológicos en órbita, muchos de ellos en series operativas de cinco o más, que forman parte esencial del segmento espacial del Sistema mundial integrado de sistemas de observación de la OMM (WIGOS) que está reemplazando a la VMM.

Muchos de estos sistemas de observación están optimizados para apoyar la vigilancia y la predicción meteorológica en tiempo real, pero su ámbito de aplicación se está ampliando paulatinamente para proporcionar una base a los registros climáticos de larga duración de parámetros atmosféricos clave. Por ejemplo, la red geostacionaria internacional, actualmente mantenida por siete operadores de satélites, pronto volará con generadores mejorados de imágenes visibles e

1 Asesor especial del Secretario General de la OMM en materia de satélites

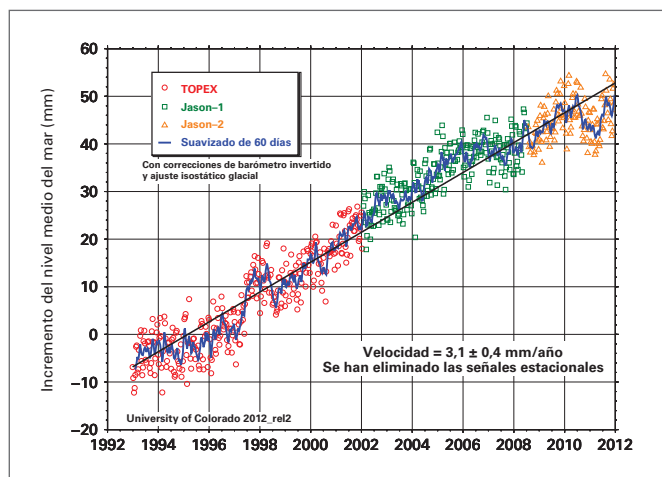
2 Instituto para el Medio Ambiente y la Sostenibilidad, Centro Común de Investigación, Comisión Europea

infrarrojas, con sondas de infrarrojos hiperespectrales y con detectores de descargas eléctricas. A finales de la década, algunas series incluirán un cargamento adicional dirigido a observar la composición atmosférica.

Los satélites meteorológicos operativos en órbitas terrestres bajas y heliosincrónicas, que obtienen imágenes multispectrales y realizan sondeos verticales como misiones principales, se verán provistos de forma progresiva de capacidades más avanzadas, como el sondeo infrarrojo hiperespectral, los sensores de ocultación de radio del Sistema mundial de navegación por satélite (GNSS), alguna instrumentación para el estudio del balance de la radiación terrestre y los sensores de medición de la contaminación atmosférica y el medio espacial. Sin embargo, aunque proporcionan una contribución significativa a la vigilancia del clima como parte del componente espacial de WIGOS, los satélites meteorológicos operativos no siempre alcanzan el nivel de exactitud necesario para la vigilancia del clima ni observan todas las variables que intervienen en los procesos climáticos.

Se han desplegado ya más de 30 misiones de satélite para observar específicamente componentes climáticos, para apoyar los estudios de los procesos climáticos o para probar las nuevas tecnologías que se utilizarán en la vigilancia del clima. Estas misiones ofrecen una valiosa fuente de referencia para las futuras misiones en apoyo de la constante vigilancia del clima desde el espacio. El aumento de la frecuencia de las mediciones hechas por satélite, la mejora de la tecnología de los satélites y de los sensores, y el acceso más fácil a los datos de observación de la Tierra que proporcionan, así como a la interpretación de los mismos, aumentará la comprensión del papel que los datos de satélites juegan en los sistemas de conocimiento del clima.

En los próximos 15 años están previstas otras 140 misiones de satélites, que llevarán más de 400 instrumentos diferentes para medir los componentes del sistema climático. Estos satélites recopilarán nuevos datos sobre



*Aumento del nivel mundial del mar en el periodo 1992-2012, basado en los datos procedentes de los satélites TOPEX/Poseidon y Jason.*

la composición química, el contenido de aerosoles y la dinámica de la atmósfera terrestre. El lidar espacial proporcionará nueva información sobre los vientos, además de observaciones de las nubes y de los aerosoles. La observación sobre el balance radiativo terrestre, realizada en la alta atmósfera mediante una combinación de mediciones, se beneficiará de las misiones dedicadas al clima y a la meteorología operativa. Partiendo de las capacidades construidas durante más de una década, la vigilancia mundial del ciclo hidrológico se verá reforzada con el radar espacial de precipitación y con los sensores pasivos de microondas coordinados por una gran red internacional de satélites.

Las mediciones de la topografía de la superficie del océano tomadas con altimetría radar y las mediciones del campo vectorial de viento en la superficie oceánica con dispersómetros, que se iniciaron hace 20 años con carácter experimental, se espera que se vean fortalecidas por las misiones de seguimiento. Asimismo entrarán en funcionamiento nuevas capacidades para medir la salinidad del océano.

Las series de satélites meteorológicos operativos y de vigilancia terrestre suministrarán observaciones continuas de la superficie terrestre, de los parámetros de la vegetación y de las capas de hielo. Los sistemas avanzados de radar de abertura sintética (SAR) aportarán nueva información sobre las propiedades de la superficie terrestre, y los instrumentos de microondas activos y pasivos medirán la humedad de la superficie del suelo. Una nueva generación de sensores también está surgiendo con capacidades mejoradas para medir de forma remota la superficie terrestre, el océano y la atmósfera, incluyendo su composición química.

## Iniciativas paralelas

Ya hay varias iniciativas encaminadas a mejorar las observaciones para la ciencia del clima. Cualquier estrategia para mejorar la observación desde el espacio debe tenerlas en cuenta, así como la coherencia y la compatibilidad de la observación y de la vigilancia dentro de la arquitectura mundial.

El Servicio de cambio climático del programa Copérnico de la Unión Europea, que se encuentra en fase de desarrollo, por ejemplo, tiene por objeto proporcionar información sobre la vigilancia y la predicción del cambio climático, lo que respaldará las actividades de apoyo a la adaptación y a la mitigación. El Servicio se beneficia de una red ininterrumpida de observaciones realizadas *in situ* y por satélite, del reanálisis de los datos climáticos y de la modelización de escenarios. Mediante el Servicio de cambio climático será posible acceder a los indicadores climáticos –incremento en la temperatura, aumento del nivel del mar, deshielo de la capa de hielo, calentamiento del océano– y a los índices climáticos –basados en los registros de temperatura, precipitación y episodios de sequías– que describen tanto los elementos impulsores del clima ya identificados como los impactos climáticos previstos.

## Identificación y análisis de deficiencias

La adecuación de las explotaciones actuales y de las capacidades espaciales previstas está sujeta al examen de la comunidad del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC) y se evalúa en el informe “Requisitos de la observación sistemática para los productos satelitales relativos al clima (SMOC-154)”. En casi todos los pasos de la cadena de valor, desde el sensor hasta el registro de datos climáticos, se identifican o se prevén lagunas o deficiencias.

Se han adoptado iniciativas para hacer frente a estas deficiencias de manera coordinada por parte de las agencias espaciales a través del Comité sobre satélites de observación de la Tierra (CEOS) y del Grupo de coordinación de los satélites meteorológicos (GCSM), así como por parte de la OMM en respuesta a los requerimientos del SMOC.

## Definición de una arquitectura común

En enero de 2011 el SMOC y el Programa espacial de la OMM celebraron un taller dirigido a responsables de instancias normativas y a técnicos expertos. En él se propuso constituir un equipo *ad hoc* integrado por representantes del CEOS, del GCSM y de la OMM para elaborar un documento estratégico de una arquitectura para la vigilancia del clima desde el espacio. El informe final, publicado en 2013 y titulado “Estrategia en pro de una arquitectura para la vigilancia del clima desde el espacio”, se centra en las observaciones por satélite realizadas para la vigilancia climática y en la necesidad de una arquitectura internacional que garantice la entrega de estas observaciones en los plazos establecidos para el análisis a largo plazo del sistema climático de la Tierra.

El informe describe una estrategia que es intencionalmente de alto nivel, conceptual e integradora para que se pueda alcanzar un amplio consenso y todas las entidades competentes puedan identificar sus potenciales contribuciones. Sin embargo, la estrategia no es suficiente por sí sola pues se limita a proponer una arquitectura lógica para definir las actividades y las funciones que se requieren para desarrollar un sistema integral. Sus cuatro componentes principales (véase la figura: “Principales componentes de una visión lógica”) incluyen: la detección, la generación de registros de datos climáticos, la vigilancia y el análisis climáticos, y el apoyo en la toma de decisiones. Inicialmente se pretende hacer hincapié en la representación de los procesos “corriente arriba”, como son la detección y la generación de registros de datos climáticos. Sin embargo, las aplicaciones y los servicios “corriente abajo” serán igualmente importantes.

La arquitectura física propuesta requiere satélites operativos y de investigación, políticas de intercambio de datos amplias y abiertas, y una planificación de contingencias y de acuerdos. Estos elementos son esenciales para dar a las observaciones climáticas la misma continuidad y sostenibilidad a largo plazo que la que ya

existe para las observaciones meteorológicas. Sin embargo, la vigilancia del clima tiene necesidades que van más allá de las capacidades de las misiones de investigación que se realizan una sola vez y de los sistemas de satélites operativos que existen hoy en día.

El informe subraya la necesidad de que tanto los organismos de investigación como los operativos desarrollen un marco común para la administración de la información climática. La elaboración del registro climático requiere un conocimiento experto y continuado de los sensores climáticos nuevos y heredados, así como una red sostenida de actividades de apoyo que incluyan la calibración y la validación, y el asesoramiento y la intercompañación de productos colaborativos. Esto solo se puede proporcionar mediante los esfuerzos de cooperación en los organismos de investigación y operativos.

El informe también señala que es imprescindible una mayor y más amplia coordinación entre todas las partes interesadas, tanto técnicas como políticas, con el fin de optimizar esfuerzos, garantizar la trazabilidad y asegurar los recursos necesarios para su puesta en marcha. Desde una perspectiva técnica, la comunidad científica, los grupos técnicos pertinentes y otros mecanismos deben tener una mayor participación tanto en la revisión del método propuesto como en el amplio desarrollo de la arquitectura física. Desde una perspectiva política, la arquitectura lógica propuesta debería verificarse a través de un enfoque verticalizado, de arriba hacia abajo, para asegurar que soporta adecuadamente los flujos de información desde el proceso de toma de decisiones hacia la capacidad y las necesidades de la detección. Este es un paso esencial para que las instancias normativas puedan valorar y apoyar la necesidad de una arquitectura integral de la vigilancia del clima que sea capaz de satisfacer sus necesidades, así como las de otros usuarios. Por último, el informe incluye una hoja de ruta con el camino a seguir y define acciones concretas.

El informe proporciona evidencias sobre lo siguiente:

- se necesitan inventarios para documentar las contribuciones de los sistemas de observación actuales y previstos con fines climáticos, dado que los sistemas de observación actuales no se han diseñado principalmente teniendo en cuenta la perspectiva climática;
- es necesario mejorar los requisitos sobre continuidad de la misión y contingencias a través de la colaboración internacional entre agencias espaciales;
- los programas de registro continuo de datos climáticos (CDR) proporcionarán una vía para sustituir algoritmos históricos y conjuntos de datos con versiones mejoradas una vez que hayan sido demostradas, validadas y estén disponibles con éxito; y
- es imprescindible una coordinación mayor y más amplia entre todas las partes interesadas a fin de garantizar la trazabilidad a lo largo de prácticas homogeneizadas.

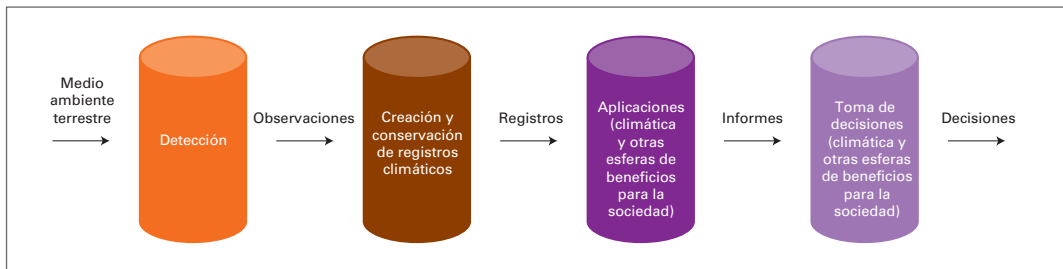
Aunque el informe de estrategia hace hincapié en las observaciones espaciales también se espera que, durante la fase de ejecución, las agencias espaciales y los programas asociados aborden con seriedad cómo los componentes *in situ* del sistema de vigilancia del clima se podrían incluir dentro de la arquitectura. Este proceso de integración debería aprovechar las actividades y los marcos internacionales que ya existen y que coordinan las redes de observación *in situ*. Teniendo en mente esta aspiración a largo plazo, la arquitectura lógica presentada en el informe se ha hecho genérica de forma deliberada de modo que pueda ajustarse con facilidad para describir los componentes funcionales del espacio integrado y el sistema de vigilancia *in situ* en algún momento del futuro.

El informe está dirigido a los grupos de coordinación que llevaron a cabo su redacción, a sus miembros y a las autoridades rectoras o de asesoramiento, y a los programas que tienen un papel o interés en el clima, en particular a aquellos que han proporcionado las revisiones técnicas del informe: el SMOC, el Grupo de

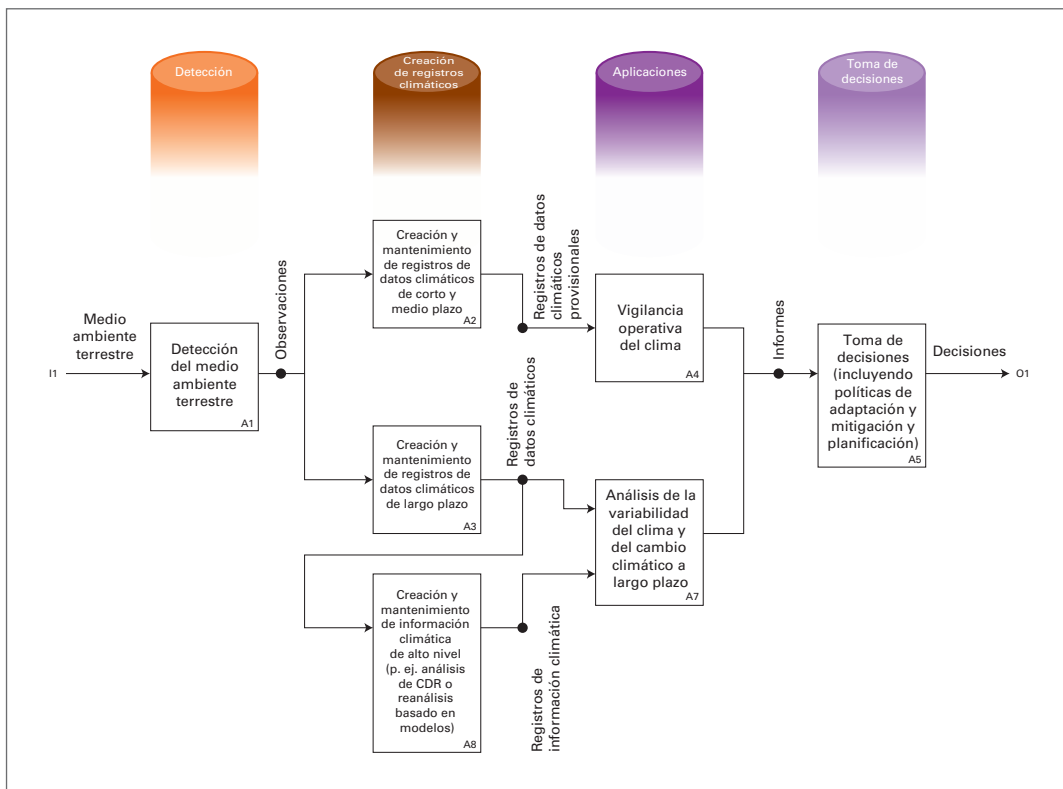
observación de la Tierra (GEO) y el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC). Será importante que estos organismos reconozcan la necesidad de esta arquitectura y los beneficios que la coordinación y la cooperación internacional pueden brindar, especialmente mediante la optimización de los recursos de los sistemas de satélites. Todos los programas y marcos climáticos deberían trabajar a nivel internacional para fortalecer e impulsar las observaciones y la investigación climáticas. Sus necesidades pueden satisfacerse mejor si la estrategia para el desarrollo de una arquitectura para la vigilancia del clima desde el espacio es sólida tanto técnica como políticamente.

### Ejecución: el camino a seguir

En el informe se propone también la forma concreta de avanzar, y el CEOS, el GCSM y la OMM están emprendiendo ya los siguientes pasos de la iniciativa, que incluye el diseño de una arquitectura física que recoja las estrategias de ejecución actuales y previstas para cada una de las variables climáticas esenciales. Un



Principales componentes de una visión lógica



Descomposición de los 4 pilares de la arquitectura (centrándose en "Creación y conservación de registros climáticos" y "Aplicaciones")

primer paso en este proceso es el mantenimiento de un inventario de variables climáticas esenciales<sup>3</sup> que proporcione una visión detallada de la capacidad actual y prevista. Con este fin, los organismos miembros del CEOS y del GCSM han completado un detallado cuestionario a nivel de producto, que es la base inicial para definir este inventario.

Por último, un valor fundamental de la arquitectura es su carácter de principio a fin el cual, desde la perspectiva del usuario, va desde una perspectiva política de

3 El inventario actual de las variables climáticas esenciales se encuentra disponible en <http://ecv-inventory.com/>

toma de decisiones a través de las aplicaciones requeridas hasta los conjuntos de datos necesarios y, en última instancia, hasta la capacidad de observación exigida para mantener este flujo de información. En el corto plazo, el objetivo del plan es verificar que la arquitectura propuesta respalda adecuadamente las aplicaciones climáticas y la toma de las consiguientes decisiones. Una aplicación de la arquitectura en estudios de casos específicos con una variedad de escalas compatibles con el desarrollo de los servicios climáticos (es decir, mundial, regional, local) abordaría esto. Las instancias normativas deberían apreciar el valor de una capacidad integrada de vigilancia del clima que responda a sus necesidades.

## CIMO-16 TECO-2014 METEOREX-2014

se celebrarán de forma conjunta en julio de 2014  
San Petersburgo, Federación de Rusia

### TECO-2014 (7 a 9 de julio de 2014)

La conferencia técnica de la OMM sobre instrumentos y métodos de observación meteorológicos y medioambientales (TECO-2014) promueve el intercambio de información sobre los últimos desarrollos en sistemas de instrumentación y observación. El primer anuncio y convocatoria de ponencias para TECO-2014 se publicará en breve.

### METEOREX-2014 (7 a 9 de julio de 2014)

La exposición de instrumentos, equipo y servicios meteorológicos se celebrará en el mismo lugar y al mismo tiempo que TECO-2014.

### CIMO-16 (10 a 16 de julio de 2014)

La decimosexta reunión de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación de la OMM abordará las prioridades de la CIMO para los próximos 4 años, incluyendo las intercomparaciones entre instrumentos, y deberá aprobar el texto de la próxima edición de la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos (Guía de la CIMO).

La información adicional sobre estos eventos estará disponible en el momento oportuno en la siguiente dirección: [www.wmo.int/pages/prog/www/CIMO/cimo-teco-meteorex.html](http://www.wmo.int/pages/prog/www/CIMO/cimo-teco-meteorex.html)



Organización  
Meteorológica  
Mundial  
Tiempo · Clima · Agua