

# Vigilancia, predicción y gestión de desastres meteorológicos

por **Qing-Cun Zeng**, Instituto de Física Atmosférica, Academia China de Ciencias

La protección de vidas y bienes personales frente a los desastres relacionados con el tiempo, el clima y el agua ha sido, y sigue siendo, una tarea crítica en el desarrollo sostenible mundial. Es especialmente importante para los meteorólogos porque casi el 90% de los desastres naturales se deben a las amenazas meteorológicas o están provocados por ellas.

China se encuentra situada en una zona monzónica, donde el tiempo y el clima son muy variables, y donde con frecuencia ocurren desastres debidos a condiciones meteorológicas y climáticas adversas. El pueblo chino ha sufrido durante mucho tiempo estos desastres y, por lo tanto, ha adquirido experiencia en su mitigación y en el desarrollo de las ciencias meteorológicas. Ya en el periodo 2200-2100 a. C., los registros constatan que el emperador Yu ayudó a la población china ideando métodos para hacer frente a las crecidas y controlar el cauce de los ríos. La mitigación de los desastres relacionados con el tiempo, el clima y el agua sigue siendo una alta prioridad de la Administración Meteorológica de China (CMA) y de las actividades de investigación asociadas.

No se pueden minimizar los esfuerzos significativos de la OMM en este campo. La Organización coordina la observación, la vigilancia y el intercambio de datos en todo el mundo y promueve la investigación para mejorar la capacidad de predicción de fenómenos meteorológicos extremos. Por ejemplo, el Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción de la OMM facilita el intercambio de datos y de capacidades en materia de predicción numérica del tiempo y del clima. Los meteorólogos chinos se benefician de las actividades de la OMM, y, a su vez, hacen esfuerzos para contribuir a ellas, garantizando así el bienestar común de la humanidad.

## Avances y logros recientes

La comunidad científica ha realizado progresos significativos a la hora de vigilar, predecir y gestionar desastres relacionados con el tiempo, el clima y el agua a lo largo del último siglo. Ello ha sido gracias a la utilización de datos de teledetección satelital, a la predicción numérica del tiempo y del clima, y al procesamiento de datos usando

ordenadores de alto rendimiento, tareas todas que comenzaron en la década de 1960 y se consolidaron en la de 1990.

En la actualidad existen: un conjunto completo de satélites meteorológicos capaces de vigilar cada sistema meteorológico en cualquier momento y en cualquier lugar del mundo; modelos meteorológicos sofisticados que pueden predecir el tiempo desde unas horas hasta varios días vista y las anomalías climáticas con una antelación de meses a años; y superordenadores capaces de procesar "grandes cantidades de datos" rápidamente.

Los ejemplos de ciclones tropicales (llamados huracanes en la región del Atlántico y tifones en la región del Pacífico) y de inundaciones a gran escala nos permiten demostrar los progresos y logros recientes. Los ciclones tropicales son a menudo la causa de los desastres relacionados con el tiempo, mientras que las inundaciones a gran escala constituyen un desastre típico relacionado con el clima.

## Ciclones tropicales (huracanes y tifones)

En 1900, no se dio ningún aviso cuando el huracán Galveston (1900), uno de los peores desastres naturales de la historia de los Estados Unidos de América, tocó tierra en Galveston (Texas), porque no se disponía por entonces de vigilancia ni de predicción. El huracán destruyó completamente la ciudad y se cobró entre 6 000 y 8 000 vidas humanas.

En 1992, los satélites meteorológicos proporcionaron una vigilancia continua del huracán Andrew. Pero el aviso real se dio solo 24 horas antes de que el huracán hubiera tocado tierra, porque la predicción numérica del tiempo (PNT) no estaba suficientemente desarrollada en ese momento.

Apenas 20 años después, la alerta de que el huracán Sandy (2012) tocaría tierra se emitió 5 días antes de que llegara a la costa de los Estados Unidos de América, a pesar de la inusual trayectoria que siguió el temporal. Este fue el resultado de los avances en la modelización de la PNT con la integración de los datos meteorológicos satelitales.

Curiosamente, los modelos de PNT que no incorporaban datos de satélites meteorológicos predijeron que el huracán se desplazaría de forma continuada hacia el este sin girar hacia la zona costera y tocar tierra.

En 2014, los satélites geoestacionarios chinos FengYun-2 y FengYun-3, así como sus homólogos estadounidenses y japoneses, siguieron el desarrollo y la trayectoria del supertifón Rammasun (12 a 20 de julio, **figura 1**). La **figura 2** muestra la trayectoria del centro, tal como la predijeron varios modelos de PNT el 16 de julio de 2014 (3 días antes de tocar tierra en la provincia de Hainan).

Los datos satelitales y los modelos de PNT permitieron que la CMA emitiera alertas a los buques y a los pescadores antes de que Rammasun penetrara en el mar del Sur de China, y avisos de llegada a tierra en la provincia de Hainan con 36 horas de anticipación. Estas alertas tempranas facilitaron que las autoridades provinciales y municipales pudieran hacer planes y adoptar medidas inmediatas para mitigar los daños. Cuando Rammasun tocó tierra por segunda y tercera vez, respectivamente en las provincias de Hainan y de Guangdong, trajo consigo vientos fuertes (máximos de 60 a 63 m s<sup>-1</sup>), lluvias intensas e inundaciones de 3 m en la zona costera y olas en alta mar de 13 m, causando enormes daños.

No hubo pérdida de vidas humanas en la provincia de Guangdong por el tifón Rammasun, debido a una vigilancia continua, una predicción acertada, una planificación estratégica y una adopción de respuestas apropiadas. Sin embargo, las pérdidas económicas fueron cuantiosas, debido a la intensidad y a la compleja estructura asimétrica del tifón. Estos sistemas siguen siendo difíciles de predecir y requieren una mayor investigación.

## Inundaciones a largo plazo

Las regiones monzónicas a menudo tienen densas poblaciones humanas y prácticas agrícolas ancestrales, especialmente para la producción de cultivos. La seguridad de

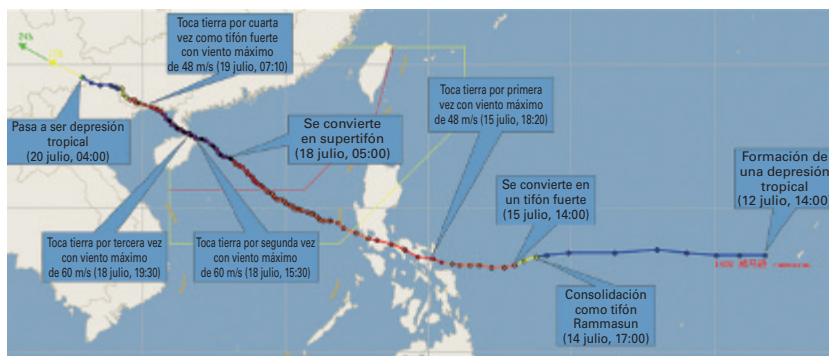


Figura 1. Desarrollo y trayectoria del centro del tifón Rammasun (12 a 20 de julio de 2014).

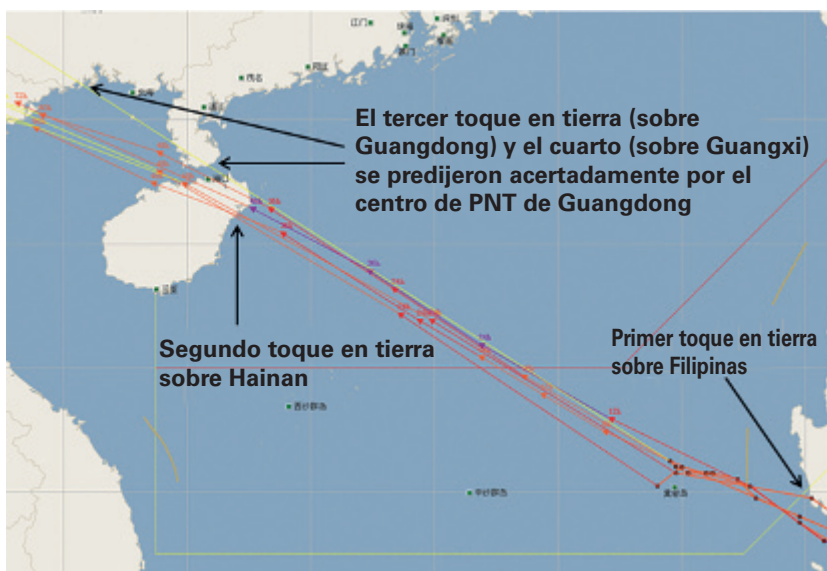
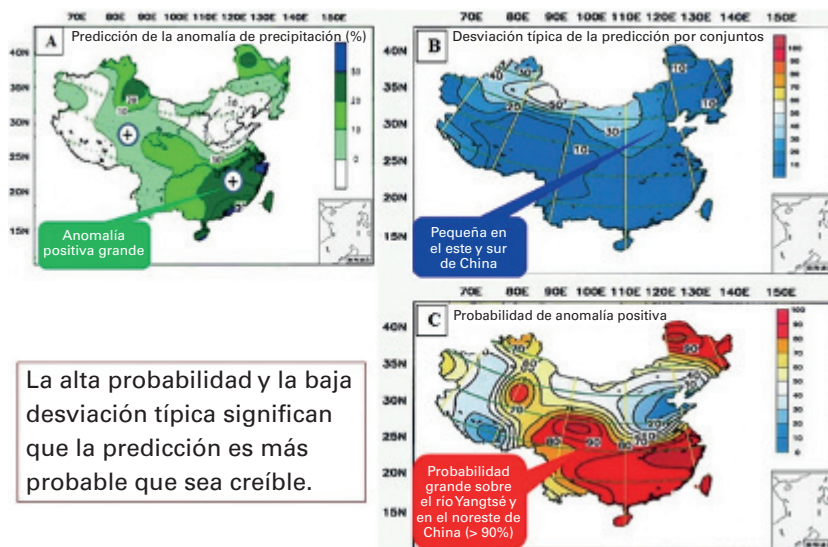


Figura 2. Predicciones de los modelos de PNT de la trayectoria del centro del tifón Rammasun el 16 de julio (3 días antes de tocar tierra en la provincia de Hainan).

personas y cosechas se ve gravemente afectada por desastres relacionados con el clima tales como crecidas y sequías. Por lo tanto, las predicciones de catástrofes de origen climático son muy importantes.

La OMM creó el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) en 1983, después de que se implantara una PNT de forma sistemática en varios países desarrollados. Se diseñó un plan a 10 años para desarrollar predicciones climáticas dinámicas (numéricas).

Durante la puesta en marcha del PMIC en China, las evaluaciones llevadas a cabo en 1989 demostraron que podría ser factible extender las predicciones climáticas dinámicas a dos estaciones e incluso a un periodo de tiempo de un año. Una predicción extraestacional (para dos temporadas) que utilizaba un modelo de predicción climática dinámica (IAP-DCP) se convirtió en uno de los esquemas operativos para la predicción climática sistemática en la CMA en 1994.



La alta probabilidad y la baja desviación típica significan que la predicción es más probable que sea creíble.

Figura 3. Predicción en tiempo real de las anomalías de precipitación (%) para el verano (JJA) de 1998, ofrecida por el modelo IAP-DCP, realizada del 1 al 28 de febrero. La predicción consistía en: A) predicción por conjuntos de la anomalía de precipitación para el verano (JJA) de 1998, B) desviación típica de las muestras de la predicción por conjuntos y C) probabilidad de anomalías positivas.

La alta probabilidad y la baja desviación típica indican que la predicción es fiable. La figura 4 proporciona la verificación, que muestra que la predicción climática era acertada. Tanto los patrones previstos como los observados de las anomalías de precipitación en verano para 1998 son muy similares. La intensidad de la anomalía positiva es inusualmente grande en las predicciones y en las observaciones (aunque la anomalía prevista fue menor que la observada).

En el ejemplo de las figuras 3 y 4, la predicción climática indicaba que podría haber crecidas en los tramos medio y bajo del río Yangtsé y a lo largo del río Nen (noreste de China). En consecuencia, a principios de marzo se envió un informe de alerta a los gobiernos central y provincial, para que comenzaran a prepararse las tareas de prevención de crecidas.

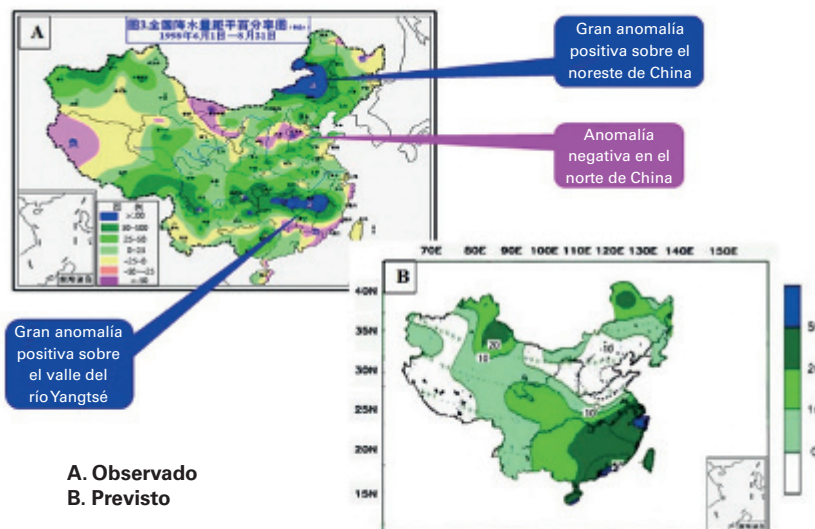


Figura 4. Porcentaje de la anomalía de precipitación en verano de 1998: A) observaciones y B) predicciones.

Las crecidas tuvieron lugar posteriormente con una intensidad inusual. La orilla del río Yangtsé se colapsó repentinamente en Jiu Jiang, en una zona inesperada. Los equipos de respuesta frente a emergencias tuvieron que movilizar mano de obra y materiales de toda China. El presidente chino Jiang Zemin se desplazó a Jiu Jiang para dirigir los trabajos de mitigación de los daños causados por las inundaciones y el sellado de la orilla colapsada. El seguimiento posterior por satélite y la PNT fueron muy útiles para los ingenieros encargados del sellado de la orilla. En este sentido, la predicción numérica climática fue de gran ayuda para la pronta planificación de la gestión de la crecida, y la vigilancia por satélite y el PNT resultaron cruciales durante la gestión de la catástrofe.

Tomando la predicción de la anomalía de precipitación en verano (junio, julio, agosto (JJA)) como ejemplo, el modelo IAP-DCP consta de tres partes: predicciones por conjuntos iniciadas cada mes de febrero; un sistema de corrección para eliminar el sesgo del modelo por medio de estadísticas de análisis retrospectivo; y una predicción final (formal) que consta de tres componentes, como se muestra en la figura 3 (A-C). La figura muestra la predicción en tiempo real de anomalías de precipitación para el verano (JJA) de 1998 por parte del modelo IAP-DCP, realizada del 1 al 28 de febrero.

Como defectos de las predicciones cabe señalar que las lluvias de verano pronosticadas no fueron lo suficientemente intensas y que no se prestó suficiente atención a la predicción de situaciones propensas para ocasionar un desastre (sobre todo la zona afectada, la altura de las crecidas, y la hora y el lugar del colapso de la orilla, lo que supuso un grave problema).

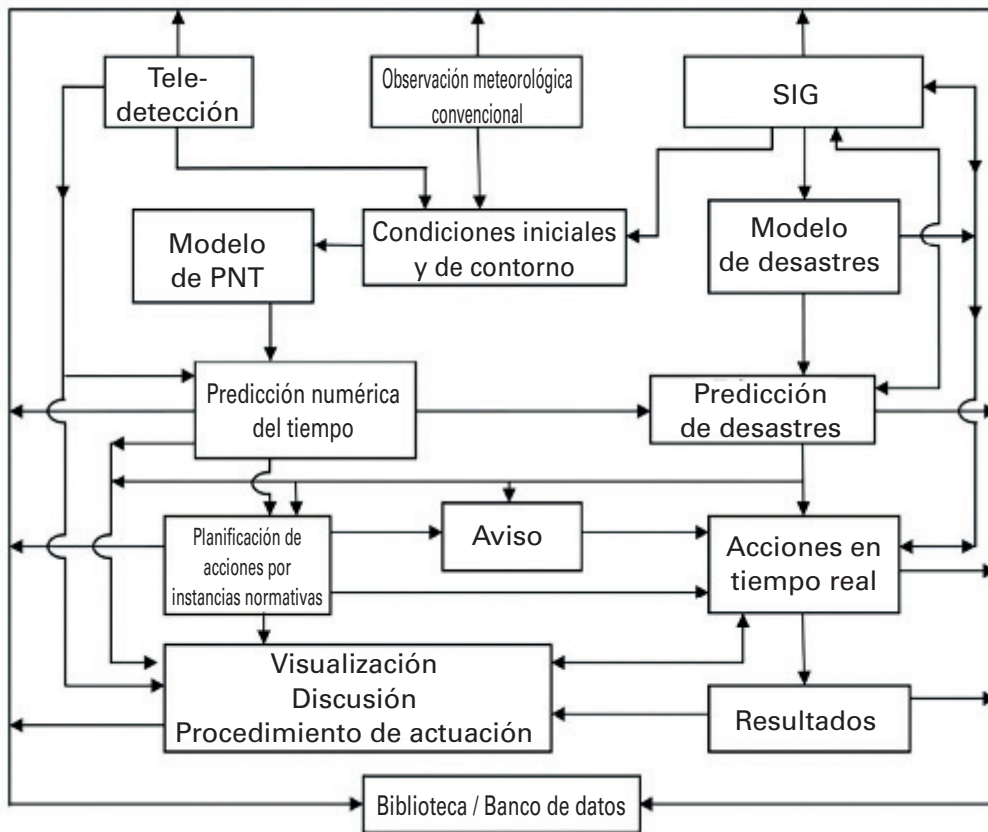


Figura 5. Diagrama de flujo para la vigilancia, predicción y gestión de fenómenos meteorológicos extremos con el fin de minimizar los riesgos de desastre.

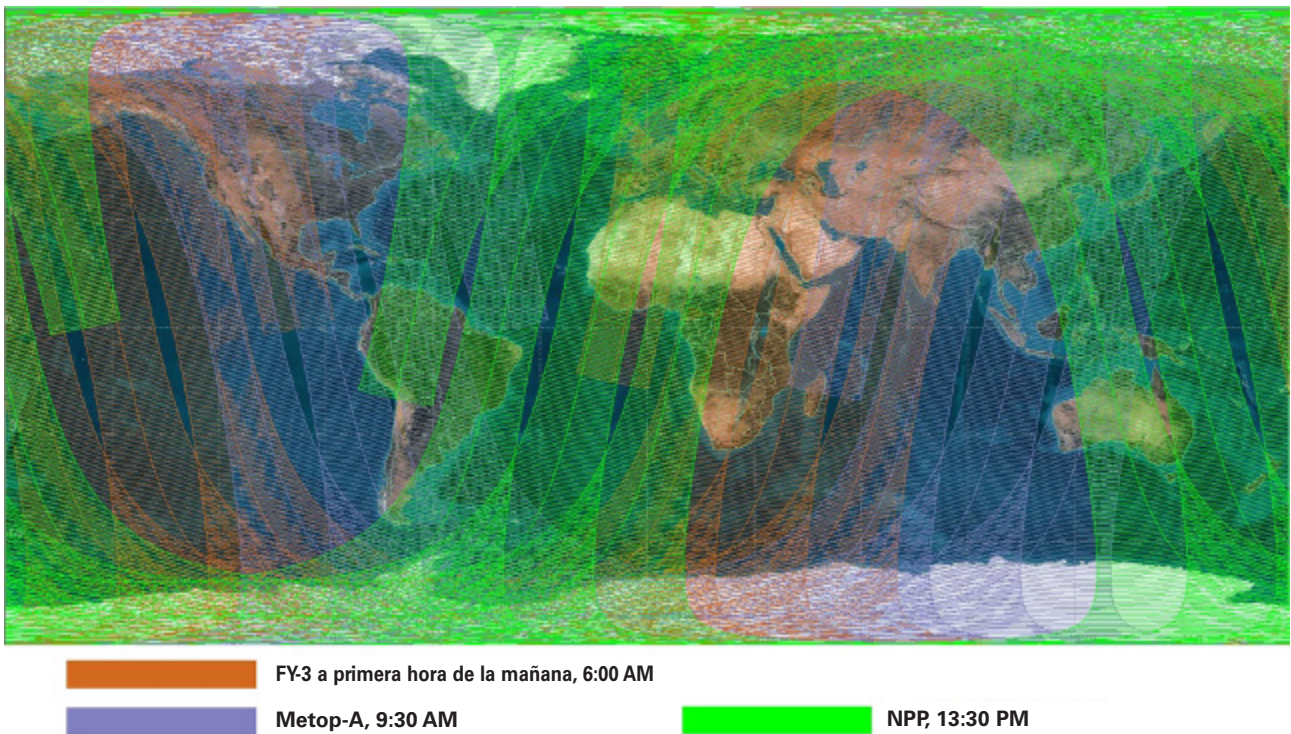


Figura 6. Opciones en la órbita de los satélites: FengYun-3 (FY-3) a primera hora de la mañana, NPP (tarde) y Metop (mediodía).

## Gestión de desastres relacionados con la meteorología

A modo de resumen, los siguientes pasos son importantes para la gestión de riesgos de desastre en situaciones con fenómenos meteorológicos extremos:

1. Vigilar y predecir la situación meteorológica y climática y su evolución.
2. Predecir los impactos o las situaciones de desastre y realizar proyecciones de estimación de pérdidas.
3. Emitir avisos.
4. Elaborar un plan estratégico de prevención.
5. Implantar el plan y las normativas en tiempo real (actualizados por el seguimiento en tiempo real de las condiciones meteorológicas y las situaciones de riesgo).
6. Verificar y evaluar las pérdidas reales (de acuerdo con los datos y las experiencias).
7. Almacenar los datos y la documentación en bancos de datos y bibliotecas afines (o especiales).

Cada paso en el proceso de gestión de desastres y su prevención debería mejorarse para abordar escenarios y demandas de carácter específico, especialmente en los pasos 2), 4) y 5). Se necesita una estrecha cooperación entre meteorólogos y científicos de otras disciplinas para lograr un éxito continuado.

## Mejoras futuras

A continuación, se presentan algunas sugerencias sobre el camino a seguir basadas en la experiencia, la planificación y la reflexión chinas.

### Mejorar la vigilancia, la observación y la teledetección

El Sistema Mundial Integrado de Observación de la OMM (WIGOS) juega un papel exhaustivo y fundamental para perfeccionar de manera continua la integración y el intercambio de los datos de observación. China aportará contribuciones al componente espacial del WIGOS mediante el lanzamiento de un próximo satélite en órbita polar de primera hora de la mañana de la serie FengYun-3 y de una nueva generación de satélites geoestacionarios, la serie FengYun-4, con altas resoluciones espacial y temporal, y prestaciones mejoradas de observación (por ejemplo,

perfiles verticales de temperatura y humedad, estructura de las nubes más delgadas y descargas eléctricas).

WIGOS tendrá tres sistemas de satélites en órbita polar (FengYun-3 a primera hora de la mañana, por la tarde el NPP y el Metop a media mañana) en su componente espacial para el futuro. Constituirá una flota de satélites para observar todo el planeta y suministrar los datos necesarios para la asimilación de datos de PNT cada 6 horas (**figura 6**).

La serie de satélites FengYun-4 será de gran ayuda para vigilar y predecir sistemas meteorológicos tropicales como los tifones, oscilaciones de Madden-Julian, fuertes tormentas eléctricas, lluvias torrenciales o crecidas en las regiones de los océanos Pacífico e Índico. Los resultados preliminares de la vigilancia de los sistemas de tormentas y descargas utilizando FengYun-4A (el primer satélite experimental de la serie FengYun-4, lanzado en 2016) ya han demostrado su utilidad.

Los científicos chinos están utilizando también nuevas aplicaciones de satélites pequeños y de alta resolución para explorar y observar los sistemas meteorológicos. Los primeros resultados obtenidos por el satélite Gao Fen-4 (lanzado en 2016) de la comunidad científica china pusieron de manifiesto que el tifón Nepartak (2016) tenía un ojo con una estructura muy definida. Por el contrario, en el pasado, el ojo del tifón habría sido considerado como una región de tiempo en calma.

La CMA está construyendo la Estación terrestre integrada de Longmen, en la provincia de Guangdong, de observación de nubes y microfísica de la precipitación, sus perfiles verticales y los espectros de gotas proporcionados por radares, láseres y otros métodos. El objetivo es desarrollar esquemas de parametrización observacional y física para mejorar la PNT.

### Mejorar los modelos de predicción meteorológica y la asimilación de datos

Ha habido un progreso significativo en la PNT con la asimilación de datos en los últimos 20 años. Pero los complejos modelos de predicción del clima, predicción de lluvias intensas, predicción de la estructura de los tifones, etc. deberían mejorarse en gran medida para atender la futura demanda. La asimilación de datos especiales también puede plantear problemas.

China posee una red de estaciones automáticas de superficie con muy alta resolución, que proporcionan un conjunto de datos meteorológicos casi continuo en el espacio y el tiempo. Por ejemplo, hay 5 256 estaciones meteorológicas automáticas de superficie en tres provincias del sur de China: Guangdong, Guangxi y Hainan. La integración de estos datos tan útiles –pero heterogéneos– en los

modelos de PNT supone un problema que aún no se ha resuelto. Se ha experimentado con algunos esquemas, pero se necesitan más mejoras para facilitar una aplicación rutinaria.

### Diseñar modelos numéricos de predicción de desastres, y modelos de optimización de la gestión de desastres y el control en tiempo real

En la actualidad, los meteorólogos pueden hacer predicciones rutinarias de situaciones de desastre basándose en experiencias pasadas y en el estudio de casos anteriores. Sin embargo, este procedimiento no es estrictamente objetivo y resulta necesario procesar grandes cantidades de datos, especialmente los que se obtienen de los sistemas de información geográfica (SIG).

Se puede hacer una predicción (estimación *a priori*) de las pérdidas utilizando datos o mapas digitales para representar situaciones de desastre y datos procedentes de los sistemas SIG para representar la situación social. De esta forma, la predicción de riesgos y las pérdidas estimadas *a priori* pueden ser proporcionadas a las instancias normativas en materia de gestión de riesgos de desastre. Estas instancias llevan a cabo la gestión en tiempo real de los eventos de desastre de acuerdo con su experiencia y en el seno de un debate colectivo.

Es deseable que estas actividades se realicen de forma objetiva, usando la supercomputación para ayudar a satisfacer las futuras demandas. El diseño de modelos numéricos (cuantitativos) para predecir situaciones de desastre y de modelos para la gestión óptima de los mismos y el control en tiempo real son necesarios a la vez que imprescindibles.

Actualmente se están desarrollando, entre otros, modelos de inundaciones y de deslizamientos, pero se necesitan mejoras adicionales para que se puedan aplicar en un futuro próximo. Esto puede lograrse combinando la supercomputación con la ciencia y la tecnología correspondientes.

Por gestión óptima se entiende que el plan para lograrla debería realizarse de acuerdo con ciertos principios, por ejemplo, un mínimo de mano de obra y de consumo financiero para las acciones y un mínimo de pérdidas como consecuencia del desastre mitigado. Las acciones consisten en la evacuación de los residentes, la movilización de recursos humanos y materiales, la evaluación de la mano de obra y la infraestructura necesarias, el transporte, el control y la regulación de los niveles de agua y caudal (para casos de inundación), etc. Por lo tanto, la gestión óptima está asociada a problemas matemáticos complejos, que solo se pueden resolver mediante supercomputación.

La comunicación y la visualización de datos son importantes durante el control en tiempo real de las acciones. Utilizando toda esta gama de metodologías, técnicas e instalaciones podrán visualizarse en tiempo real los procesos evolutivos de las situaciones meteorológicas y del desastre, y también los resultados de las acciones, facilitando así que las instancias normativas adopten sus decisiones.

### Construir una plataforma científica

Es necesario tender un puente –una plataforma científica– para acelerar la investigación hasta la aplicación rutinaria, a fin de abordar las mejoras necesarias enumeradas anteriormente. Estas plataformas ya se han creado en Europa, Japón, Alemania, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte y Estados Unidos de América.

China está desarrollando una plataforma científica, el Sistema de modelización numérica de la Tierra, en cooperación con la Academia China de Ciencias, la CMA y varias universidades chinas.

Los objetivos del citado Sistema son los siguientes:

1. Desarrollar un modelo de sistema terrestre para estudiar el cambio climático y ambiental mundial y su impacto regional.
2. Desarrollar modelos de predicción numérica sin discontinuidad (desde las predicciones climáticas hasta las meteorológicas y la predicción inmediata), así como modelos de predicción de desastres, modelos de optimización de la gestión y métodos de control en tiempo real.
3. Desarrollar simulaciones numéricas para el diseño de futuros sistemas de observación.
4. Desarrollar nuevas aplicaciones para grandes volúmenes de datos (análisis de grandes volúmenes de datos e inteligencia artificial).

China ha estado produciendo y acumulando grandes cantidades de datos y conjuntos de datos valiosos (“macrodatos”) durante la observación meteorológica a largo plazo, la predicción y la gestión de los desastres asociados. El desarrollo de métodos y tecnologías para el tratamiento de grandes volúmenes de datos será importante y útil, especialmente para la predicción y gestión de desastres en determinadas áreas. La comunidad científica está desarrollando nuevos métodos teóricos y prácticos, además de los métodos estadísticos existentes, que incluyen los denominados métodos rigurosos y cuantitativos de análisis de causalidad. Será interesante probar estos métodos innovadores en la práctica.