

para incrementar su bienestar. Ahora se ha generalizado la aplicación de la información de las predicciones climatológicas para gestionar los recursos hídricos, la generación y el uso optimizados de energía, la construcción, el turismo y el transporte. También se ha fa-

vorecido el uso de información sectorial específica en un diálogo continuado e iterativo entre los generadores de información climatológica y la multitud de usuarios de los gobiernos, las universidades, la industria privada y los medios de comunicación.

El THORPEX: un programa mundial de investigación atmosférica para el inicio del siglo XXI

238

El éxito de la predicción numérica del tiempo representa uno de los logros científicos, tecnológicos y sociales más importantes del siglo XX. El notable incremento de la pericia de la predicción meteorológica a lo largo del último cuarto de siglo se mide normalmente en términos de resultados de la predicción numérica del tiempo, p. ej., la correlación de la anomalía de la superficie de la altura del geopotencial de 500 hPa (véase la Figura 6 de la página 226 de este número). Sin embargo, esta medida de la pericia de la predicción meteorológica varía de manera importante: entre distintos modelos de predicción; espacial y temporalmente; por el régimen meteorológico; la variable predicha, p. ej., las predicciones de precipitación son peores que la altura del geopotencial de 500 hPa. Las incertidumbres en las condiciones iniciales y en la formulación del modelo todavía contribuyen a: importantes fallos en las predicciones meteorológicas de gran impacto; el éxito limitado para ampliar el rango de predicciones buenas a la segunda semana; las pobres representaciones de las influencias tropicales en las predicciones extratropicales, y viceversa; y la inadecuada pericia para predecir el tiempo en la mesoescala, como en el caso de la precipitación. Además, las evaluaciones de la pericia de la predicción tienen que hacerse en términos de los usos para los que se aplican las predicciones meteorológicas. Estos usos implican tanto mitigar las pérdidas sociales y económicas atribuibles al tiempo como también beneficiarse de las buenas predicciones meteorológicas mediante una mayor productividad

Por Melvyn A. SHAPIRO¹ y Alan J. THORPE²

económica y el bienestar de la población. Estas consideraciones se resumen en el término "predicciones de tiempo de gran impacto".

Hay una necesidad cada vez mayor de predicciones más precisas de tiempo de gran impacto para reducir y mitigar los desastres meteorológicos. Los desastres a los que nos referimos son los impactos sociales y económicos de los riesgos meteorológicos (y no directamente los riesgos mismos). Las predicciones meteorológicas mejoradas pueden contribuir de manera importante a su reducción permitiendo a la sociedad tomar las acciones adecuadas. Las predicciones de tiempo de gran impacto se definen por su efecto sobre la sociedad y la economía. Se asocian, típicamente, a predicciones de ciclones de origen extratropical y tropical que incluyen meteorología de mesoescala y sus efectos (Figura 1). También abarcan las condiciones meteorológicas que afectan a la calidad del aire, períodos de temperatura alta o baja anómala y de sequía, y tiempo que, sin llegar a ser extremo, tiene gran impacto social o económico. Mejorar la pericia de las predicciones de tiempo de gran impacto para reducir los desastres meteorológicos es uno de los grandes desafíos científicos y sociales a los que se enfrenta la humanidad.

Las buenas predicciones meteorológicas pueden constituir un recurso importante para permitir que la actividad económica sea más productiva y eficaz. Es muy beneficioso darse cuenta con antelación de las condiciones medioambientales que afectan a negocios

1 Copresidente del Comité Internacional de Dirección Científica del THORPEX, NOAA, Boulder, Colorado, EE.UU. Correo electrónico: mshapiro@ucar.edu.

2 Copresidente del Comité Internacional de Dirección Científica del THORPEX, Universidad de Reading, Reino Unido. Correo electrónico: a.j.thorpe@rdg.ac.uk.

Las predicciones oportunas y precisas de tiempo de gran impacto son las que pueden traducirse en acciones específicas y decisivas para producir resultados sociales y económicos beneficiosos. Se asocian, típicamente, a predicciones de riesgos meteorológicos tales como: ciclones de origen extratropical y tropical que incluyen meteorología de mesoescala y sus efectos, p. ej., crecidas localizadas por precipitación convectiva y orográfica, ventiscas de nieve, vientos superficiales destructivos, tormentas de polvo. También abarcan las condiciones meteorológicas que afectan a la calidad del aire, períodos de temperatura alta o baja anómala y de sequía, y tiempo que, sin llegar a ser extremo, tiene gran impacto social o económico. Los desastres meteorológicos son los efectos perjudiciales de los riesgos meteorológicos sobre la sociedad y su economía.

El programa de investigación meteorológica de la OMM, el THORPEX, responde a los desafíos asociados a las mejoras cada vez más rápidas en la pericia de las predicciones del tiempo de gran impacto que reducen y mitigan los desastres meteorológicos e incrementan los beneficios que ofrecen las predicciones mejoradas. Un objetivo de investigación central del THORPEX es incrementar el desarrollo de los sistemas interactivos de predicción en los que se adaptan, en tiempo real, las observaciones, su uso en la asimilación de datos, y el diseño del sistema de modelización numérica a las necesidades de los usuarios de la predicción. Esta interactividad incluye predecir cuándo, dónde, qué tipo y cómo las observaciones mejoran la pericia de las predicciones de usuarios específicos. El THORPEX es un programa mundial de investigación atmosférica que implica la colaboración internacional entre: investigadores del mundo universitario, servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales, organizaciones e iniciativas internacionales y usuarios de predicciones.

Este artículo se basa en una conferencia que impartió Alan Thorpe ante el Decimocuarto Congreso Meteorológico Mundial en mayo de 2003. Está dedicada a la memoria de nuestro amigo y compañero Hajime Nakamura.

tales como las industrias de suministro de alimentos y energías. El término “predicciones de tiempo de gran impacto” también pone de manifiesto estos beneficios sociales y económicos que surgen de los avances en la ciencia meteorológica. Darse cuenta de estos beneficios potenciales de una mejor pericia de la predicción meteorológica es un segundo desafío clave al que se enfrentan los meteorólogos.

El THORPEX es una respuesta a estos desafíos, mediante el suministro de un programa mundial de investigación atmosférica para el inicio del siglo XXI. Es un programa internacional de investigación para acelerar las mejoras en la precisión de las predicciones de tiempo de gran impacto de un día a dos semanas para beneficio de la sociedad y de la economía. El THORPEX crea el marco organizativo que trata los problemas de la predicción meteorológica cuyas soluciones se acelerarán a través de

la colaboración internacional entre los investigadores académicos, los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales, las organizaciones e iniciativas internacionales y los usuarios de las predicciones.

Para conseguir perfeccionar por completo las predicciones meteorológicas de gran impacto se necesita que el propio sistema de predicción dé respuestas a los efectos sociales y económicos. Los últimos avances de-



Figura 1 — Montaje fotográfico de los efectos sociales, económicos y ecológicos del tiempo violento asociado a cuatro trenes de ondas de Rossby que sitiaron el globo durante noviembre de 2002.

muestran que ahora es posible alterar todo el sistema de predicción dependiendo de las necesidades precisas de un usuario dado o de un conjunto de usuarios. Por lo tanto, como núcleo del THORPEX está el diseño y la verificación de los sistemas de predicción interactivos que permiten que la información fluya de manera interactiva entre los usuarios de la predicción, los modelos de predicción numérica, los sistemas de asimilación de datos y las observaciones. Tales sistemas también pueden adaptarse para permitir que el sistema de observación, las observaciones, la asimilación y el modelo se configuren para maximizar la pericia de la predicción con fines sociales y económicos específicos. Como ejemplo, las estrategias de observación dirigida incorporan información dinámica a partir del propio modelo de predicción numérica para identificar cuándo, dónde, qué tipos y cómo las observaciones suministrarían la mayor mejora a las predicciones meteorológicas específicas.

Las mejoras en la pericia de la predicción se derivarán de los incrementos en el conocimiento de las influencias mundiales a regionales sobre el inicio, la evolución y la predictibilidad del tiempo de gran impacto. Esto incluye investigación sobre:

- la excitación de los trenes de ondas de Rossby por parte de la ciclogénesis extratropical, la topografía a gran escala, los puntos de conexión entre el continente y el océano, y los estallidos convectivos organizados tropicales y extratropicales, y el desarrollo consiguiente de tiempo de gran impacto (Figura 2);
- la dependencia de la pericia de la predicción de la variabilidad climática interanual e intraestacional, p. ej., El Niño Oscilación Austral, la Oscilación del Pacífico Atlántico Norte, la Oscilación del Atlántico Norte, las circulaciones del monzón; y
- la contribución relativa a los límites de la pericia de la predicción de la incertidumbre de las observaciones, la asimilación de datos, la formulación del modelo y el diseño del sistema de predicción por conjuntos.

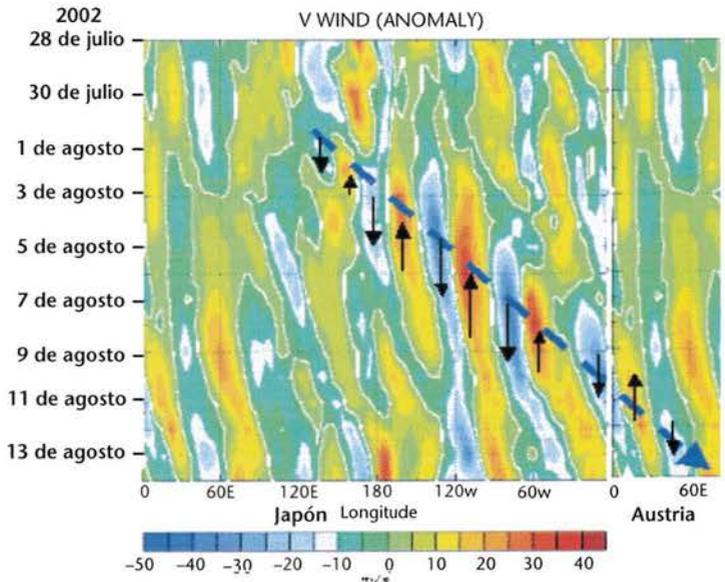


Figura 2(a) — Diagrama de Hovmöller (tiempo-longitud) de la componente de viento meridional a 250 hPa (en $m s^{-1}$) para el período comprendido entre el 28 de julio y el 4 de agosto de 2002 y el cinturón latitudinal comprendido entre 40° y $60^{\circ}N$. Las crecidas extremas en Europa Central se produjeron al final de este período. La ciclogénesis al este de Japón del 1 de agosto excitó un tren de ondas de Rossby, a lo que siguió un rápido desarrollo corriente abajo de las ondas de Rossby de gran amplitud, culminando en las crecidas violentas de Europa del 11 de agosto. Se necesita una buena predicción de la ciclogénesis al este de Japón para obtener buenas predicciones a medio plazo sobre Europa. La línea negra de rayas del 6 de agosto indica el intervalo de longitud del tren de ondas de Rossby que se muestra en la Figura 2(b)

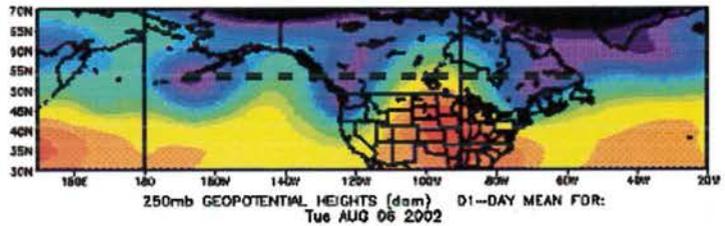


Figura 2(b) — Altura del geopotencial de 250 hPa (intervalos de 50 decámetros) del 6 de agosto de 2002, que muestra un tren de ondas de Rossby. La línea negra de rayas muestra el alcance longitudinal del paquete de ondas de Rossby como se indica en la Figura 2(a).

La contribución al desarrollo adicional de la asimilación de datos y de los modelos de predicción es crítica para el éxito del THORPEX. Este esfuerzo incluirá contribuciones para:

- mejorar la asimilación de las observaciones existentes y experimentales, incluidas las observaciones de los procesos físicos y de la composición atmosférica;
- desarrollar la asimilación de datos con capacidad de adaptación y estrategias de observación dirigida;
- incorporar la incertidumbre del modelo a los sistemas de asimilación de datos y en el diseño de los sistemas de predicción por conjuntos; y
- evaluar la utilidad del gran conjunto.

La idea de un conjunto de conjuntos —el gran conjunto— es elaborar un sistema multinacional de predicción por conjuntos (es decir de análisis múltiple y de múltiples modelos) de la mayor pericia posible para beneficiar a aquellos que sufrirían potencialmente los peligros o desastres meteorológicos más importantes, donde y cuando quiera que se produzcan. Contribuirían a este gran conjunto, que incluye miembros de conjunto y el despliegue de los recursos disponibles de observación destinados a beneficiar a las predicciones particulares de tiempo de gran impacto, todas las naciones que puedan. Las predicciones de tiempo de gran impacto generadas por el gran conjunto deberían facilitarse a todas las naciones, tanto los países desarrollados como aquellos en vías de desarrollo.

Se necesitan métodos que incrementen la utilidad de las predicciones meteorológicas a través de:

- el uso de nuevos productos de predicción probabilística para usuarios específicos;
- la introducción de procedimientos interactivos que hagan que el sistema de predicción responda mejor a las necesidades de los usuarios; y
- el diseño del uso de productos de predicción para usuarios específicos y la formación profesional en dicho uso. Esta investigación identificará y evaluará los costes y los beneficios sociales y económicos de las recomendaciones del THORPEX para poner en marcha sistemas de predicción interactivos y mejoras en el sistema mundial de observación.

El THORPEX está llevando a cabo Pruebas del Sistema de Observación (PSO) y Campañas Regionales de Campo del THORPEX (CRCT) para probar y evaluar la teledetección experimental y los sistemas de observación in situ, y, donde sea factible, demostrar su efecto sobre las predicciones meteorológicas (Figura 3) y para explorar usos innovadores (p. ej., dirigidos) de los sistemas de observación operativos.

Las CRCT son demostraciones de predicción cuasioperativa que contribuyen al diseño, la prueba y la evaluación de todas las componentes de los sistemas de predicción interactiva. Se organizan y coordinan a través de consorcios regionales de naciones dentro de sus respectivos Comités Regionales THORPEX. Las CRCT se ocupan de episodios regionales de predicción de tiempo de gran impacto, p. ej., tormentas árticas e irrupciones de aire frío; ciclones extratropicales en Europa, Asia y América del Norte; precipitación fuerte en la estación cálida en Asia; estallidos convectivos ecuatoriales organizados; transformaciones de ciclones tropicales en extratropicales. Las CRCT necesitan colaboración entre los Comités Regionales y con la Vigilancia Meteorológica Mundial de la OMM.

De mediados de octubre a mediados de diciembre de 2003 tuvo lugar una CRCT en el Atlántico Norte. El THORPEX explorará las oportunidades para realizar CRCT junto con los principales programas internacionales, como la Evaluación Multidisciplinaria del Monzón Africano (AMMA) y el Año Polar Internacional, previsto para 2007-2008. El THORPEX, por lo tanto, ofrecerá apoyo a los centros de predicción sobre las mejoras para los sistemas y las organizaciones de predicción, como la Comisión de Sistemas Básicos de la OMM y la Vigilancia Meteorológica Mundial de la OMM, sobre el diseño mejorado de sistemas mundiales y regionales de observación.

Una parte importante del THORPEX es demostrar todos los aspectos de los sistemas de predicción interactiva del THORPEX en todo el mundo durante un período de entre una estación y un año. Esto constituirá una evaluación de la utilidad de las predicciones meteorológicas mejoradas y de los productos de los usuarios, que englobe los nuevos desarrollos de los sistemas de observación, los objetivos, la asimilación de datos con capacidad de adaptación, las mejoras de los modelos y los sistemas de predicción por conjuntos de conjuntos. Esta demostración, inspirada en el Primer Experimento Mundial del GARP (FGGE), debería acoplarse con el Programa Mundial de Investigación del Clima (PMIC) a través de su concepto emergente de un experimento de observación y de predicción del sistema climático, que debería satisfacer las necesidades de observación y modelización para la predicción del clima de semanas a siglos. El THORPEX trata de la influencia de las escalas temporales inferiores a la estación sobre las predicciones de gran impacto más allá de dos semanas y, por lo tanto, aspira a servir de puente entre la predicción meteorológica a medio plazo y la predicción climatológica.

El THORPEX crea un marco organizativo contemporáneo para tratar los problemas de investigación y predicción meteorológica mundiales cuyas soluciones requieren colaboración internacional académica y operativa. Pretende ayudar a la coordinación de la transferencia y a la aplicación de los resultados operativos y de investigación de la predicción meteorológica a los países en vías de desarrollo. El THORPEX se desarrolla y se aplica como parte del Programa Mundial de Investigación Meteorológica (PMIM) de la OMM. La coordinación internacional para el THORPEX se crea bajo los auspicios de la Comisión de Ciencias Atmosféricas (CCA) de la OMM a través de su Comité de Dirección Científica para el PMIM y del Grupo de Trabajo conjunto de la CCA y del CCC sobre Experimentación Numérica. El Comité Internacional de Dirección Científica del THORPEX desarrolla los objetivos centrales de investigación con el apoyo del Comité Internacional de Dirección Central del

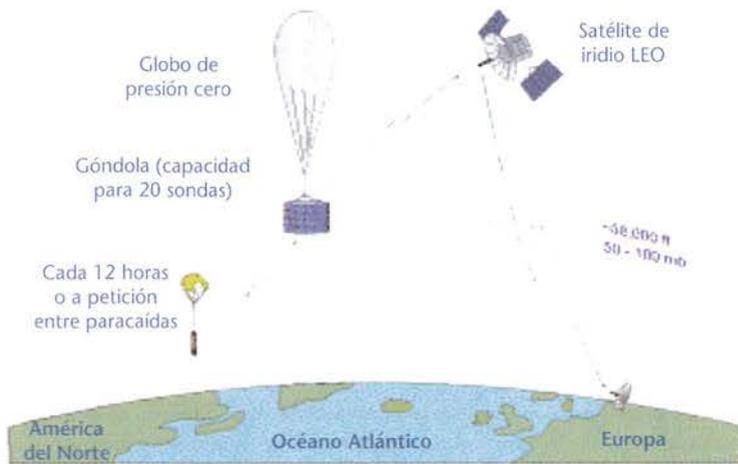


Figura 3 — (A la izquierda): esquema del sistema de radiosondas con paracaídas del NCAR. Está diseñado para volar en la baja estratosfera por encima de los niveles de la aviación comercial y desplegar radiosondas con paracaídas a petición en intervalos de 1 hora o mayores, (a la derecha) fotografía de una sonda a la deriva durante un vuelo de prueba sobre el oeste de Oregón. Tuvo lugar un exitoso vuelo de varios días.

242

THORPEX, cuyos miembros son nombrados por los Representantes Permanentes de los Miembros de la OMM. El THORPEX se compromete con otros programas internacionales dentro de la OMM, el Consejo Internacional de Ciencia y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO. A este respecto, el THORPEX aspira a ser el segundo Programa Mundial de Investigación Atmosférica (GARP), creciendo a partir de los logros del Primer Experimento Mundial del GARP. También tiene vínculos estrechos con organizaciones e iniciativas internacionales.

Los objetivos de investigación se desarrollan dentro de cuatro subprogramas: Predictibilidad y Procesos Dinámicos; Sistemas de Observación; Estrategias de Asimilación de Datos y de Observación; Aplicaciones Sociales y Económicas. Estos subprogramas coordinan las actividades de investigación previstas en los

Planes Internacionales de Ciencia y de Aplicación del THORPEX y colaboran con otros programas internacionales cuando se necesita experiencia relacionada y se obtienen beneficios mutuos. Las naciones y los consorcios de naciones han creado Comités Regionales THORPEX que definen las prioridades regionales para participar dentro del marco de los Planes Internacionales de Ciencia y de Aplicación del THORPEX.

Agradecimientos

Los autores quieren dar las gracias a la comunidad meteorológica internacional que ha hecho importantes aportaciones al desarrollo del THORPEX. Gracias especiales para Michel Bédard (Presidente del ICSC), Elena Manaenkova (Directora del PIAMA de la OMM) y David Rogers (jefe del grupo de Aplicación del THORPEX) por sus valiosos e importantes esfuerzos para desarrollar el THORPEX como un programa de investigación.

Servicios meteorológicos mundiales en 2025: una actualización cinco años después

Por Richard A. ANTHES*

En 2025 se habrá resuelto el problema de los datos para la predicción meteorológica. Se habrán eliminado los errores de las observaciones, tal como los conocemos en la actualidad. Los modelos de

predicción meteorológica con resolución horizontal de 1 km habrán alcanzado los límites teóricos de la teoría de la predictibilidad. Las predicciones numéricas en el marco temporal de 0 a 2 días serán perfectas en lo esencial. Las predicciones a una semana serán tan perfectas como las predicciones a corto plazo de la actualidad. La informa-

* Corporación Universitaria para la Investigación Atmosférica