

eficacia de las técnicas de predicción y las mejoras de los sistemas de observación de acuerdo con la medida de los efectos sociales del episodio del contacto con tierra firme.

¿Hay un futuro brillante para la predicción de ciclones tropicales? Sabemos que sí.

Bibliografía

BURPEE, R. W., 1988. Forecaster Biography. Grady Norton: Hurricane Forecaster and Communicator Extraordinaire. *Wea. and Forecasting*, 3, 247-254.

CARR, L. E., III y ELSBERRY, R. L., 1999. Systematic and integrated approach to tropical cyclone track forecasting. Part III: traits knowledge base for JTWC track forecast models in the

western North Pacific. Informe Técnico NPS-MR-99-002, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 227 pp.

DVORAK, V. F., 1975. Tropical Cyclone Intensity Analysis and Forecasting from Satellite Imagery. *Mon. Wea. Rev.*, 103, 420-430.

ELSBERRY, R. L. y F. D. MARKS, 1999. The hurricane landfall workshop summary. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 683-685.

HOLLAND, G. J., 1981. An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1212-1218.

MCBRIDE, J. L. y G. J. HOLLAND, 1987. Tropical cyclone forecasting: A worldwide summary of techniques and verification statistics. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 68, 1230-1238.

NEUMANN, C. N., 1993. Global Overview, Chap. 1, *Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting*. G. J. Holland (Ed.), Informe N.º TCP-31, OMM, Ginebra, 1.1-1.56.

Reconocimiento de ciclones tropicales utilizando la aerosonda UAV

261

Por Greg J. HOLLAND*

Introducción

Aunque los satélites han supuesto una importante mejora en la capacidad de observación global de los ciclones tropicales, sigue habiendo una carencia seria de observaciones directas, en particular en la capa límite y en las regiones del núcleo. Estas regiones del núcleo de ciclones tropicales tienen vientos muy fuertes y precipitación intensa, lo que ofrece condiciones de operación peligrosas y caras para las aeronaves tripuladas convencionales. Las Aeronaves no Tripuladas (UAV) tienen la capacidad de tomar observaciones de ciclones tropicales que no pueden obtenerse con las aeronaves tripuladas y que son complementarias a las disponibles actualmente provenientes de satélites y de aeronaves tripuladas.

La Aerosonda es un avión robótico pequeño, barato y muy resistente (Holland y otros, 2000), que fue

diseñado para ofrecer dicha capacidad de reconocimiento. Todos los vuelos son autónomos pero bajo el mando de un controlador de tierra que puede, por ejemplo, cambiar las trayectorias de vuelo y responder a las peticiones de control del tráfico aéreo. El controlador de tierra y el avión se comunican por radio UHF dentro de un alcance de 100-200 km, mientras que el satélite se utiliza en distancias mayores. Aquí ofrecemos una visión de conjunto de la Aerosonda y de sus sistemas relacionados, junto con una descripción de su forma de funcionamiento en un ciclón tropical.

La Aerosonda

El avión

En la Figura 1 se muestra el lanzamiento de la Aerosonda desde su soporte en lo alto de un coche. El avión es pequeño, barato y tiene una autonomía de más de 30 horas (Holland y otros, 2000). Es un vehículo a propulsión, con el motor atrás, lo que permite instalar instrumentos muy sensibles delante, lejos del calor y

Las aerosondas son aviones robóticos pequeños y muy resistentes, que se concibieron originariamente para ofrecer observaciones seleccionadas en regiones remotas. Vale la pena destacar la capacidad de explorar sistemas de tiempo violento, tales como ciclones tropicales. Para cumplir este papel se aprobó el desarrollo de la Aerosonda como un programa del Decenio Internacional de las NU para la Reducción de los Desastres Naturales. Este artículo describe los aspectos operativos de las misiones de la Aerosonda, incluidos los temas de regulación, las comunicaciones por satélite, el entorno de campo virtual y la navegación con vientos fuertes.

* Aerosonde Ltd, Melbourne, Australia.



Figura 1 — Una aerosonda inmediatamente después de su lanzamiento desde la baka de su coche

262

de la contaminación de los gases de escape originados por el motor. Los aspectos técnicos de la Aerosonda se describen en la Tabla I. El avión se lanza desde la baka de un coche y aterriza sobre su panza. Como conse-

cuencia, el lanzamiento y la recuperación pueden realizarse bajo condiciones muy variadas. En esencia, desde cualquier lugar en el que un coche pueda alcanzar 80 km h^{-1} . Una vez en el aire, su impresionante resistencia le permite operaciones en zonas remotas y la capacidad de merodear en la vecindad de los sistemas meteorológicos en desarrollo.

El pequeño tamaño y las necesidades de campo mínimas de la Aerosonda permiten una economía importante en su funcionamiento, alcance y flexibilidad. Sin embargo, sin duplicación de los sistemas de a bordo, fallos importantes de los componentes pueden originar la pérdida del avión; este aspecto de que sea “parcialmente desechable” era una característica del diseño original (Holland y otros, 1992).

Temas de regulación

Las operaciones de la UAV crean desafíos para garantizar la seguridad y minimizar la interrupción de los aviones tripulados. Actualmente todas las operaciones en el espacio aéreo civil se llevan a cabo con un permiso especial, que incluye procedimientos acordados para el lanzamiento y la recuperación y el establecimiento de una zona de operaciones. Como la Aerosonda funciona normalmente en regiones remotas le-

Tabla I
Especificaciones técnicas de la Aerosonda

Especificaciones

Peso, envergadura	< 15 kg; 2,9 m
Motor	24 cc, 1,25 kW de potencia, con motor de inyección electrónica y funcionamiento con gasolina súper sin plomo
Navegación	GPS, DGPS, rastreo automático de tormentas y frentes
Funcionamiento	
Personal de lanzamiento y recuperación	2-3 personas: controlador, ingeniero, piloto/personal de mantenimiento
Personal para operaciones de vuelo	1 persona por cada 3 aviones como máximo
Equipamiento de tierra	Caja de desprendimiento patentada, ordenador personal, equipo de comunicaciones, antena GPS
Vuelo	Completamente autónomo, bajo mando de la base
Lanzamiento y recuperación	Lanzamiento desde la baka de un coche (opción de catapulta), aterrizaje sobre su panza, autónomo o con piloto
Comunicaciones de tierra y aire	UHF o comunicaciones satelitales con la Aerosonda, VHF con el personal de campo y con otros aviones, Internet o línea telefónica con el centro de mando y con los clientes
Rendimiento	
Velocidad, ascenso	$18\text{-}35 \text{ m s}^{-1}$; ascenso $> 2,5 \text{ m s}^{-1}$ al nivel del mar
Alcance, autonomía	$> 3\ 000 \text{ km}$; $> 30 \text{ horas}$
Alcance en altitud	$100 \text{ m} \rightarrow 6\ 000 \text{ m}$ (peso intermedia)
Carga útil	Más de 5 000 g con carga de combustible reducida
Instrumentación estándar	
Temperatura, presión, humedad, viento	3 Sondas Vaisala RSS901 $< 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$; $< 0,2 \text{ hPa}$; $< 2\%$ de humedad; viento patentado $< 0,5 \text{ m s}^{-1}$

jos de otro tráfico aéreo, un procedimiento típico será utilizar un corredor aéreo desde el lugar del lanzamiento y de la recuperación hasta la región remota, en el que se deben realizar las operaciones.

Debido a los requisitos de la Aerosonda, la Autoridad Australiana de Seguridad de Aviación Civil ha sido el líder mundial, por las recientemente terminadas, regulaciones diseñadas para cubrir el funcionamiento de las UAV en el espacio aéreo australiano. Incluyen especificaciones para certificar las operaciones y el avión, junto con procedimientos y metodologías de funcionamiento. Como la Aerosonda es muy pequeña, funciona en una clase especial de avión que no necesita certificación. Durante el programa de campo de 2000 de la NASA CAMEX-4, el personal de la Aerosonda realizó un importante examen de seguridad de vuelo por parte de la NASA y se convirtieron en los primeros operadores de UAV aprobados por la NASA para realizar operaciones con aviones tripulados.

Los sistemas de a bordo ofrecen procedimientos de seguridad y de suspensión a los que se recurre automáticamente cuando se dan ciertas circunstancias pre-determinadas. Por ejemplo, los programas de mando suspenderán un vuelo si el avión vaga sin rumbo fijo fuera de un límite definido de operaciones. Si se pierde la comunicación durante un período especificado, el avión volverá a la base a través de una trayectoria de vuelo definida y aterrizará de forma autónoma. Si hace falta, tales programas pueden hacer amerizar a un avión incontrolado, aunque, por fortuna, todavía no han sido necesarias soluciones tan drásticas.

El sistema de mando y de comunicaciones

Después del lanzamiento, el mando del avión se puede ejercer desde el lugar del lanzamiento o desde cualquier lugar especificado. Este lugar puede estar en cualquier punto de la Tierra, ya que todo lo que se necesita es un buen sistema de comunicaciones. Por ejemplo, las operaciones de la Aerosonda en Australia se han seguido desde los EE.UU. Un Centro Mundial de Mando situado en Melbourne, en Australia, vigila las operaciones generales de todo el globo. Este centro funciona mediante una combinación de radio, comunicaciones por satélite, líneas telefónicas e internet.

Es necesaria una comunicación casi continua entre la Aerosonda y los operadores de tierra para responder a los temas de regulación, controlar el estado y las operaciones del avión y permitir

transmitir las observaciones meteorológicas a los predictores en tiempo real. Tal comunicación se consigue con radio UHF cuando el avión está dentro del alcance o con satélites en Órbita Terrestre Baja (OTB). Nosotros utilizamos el sistema de OTB Iridium, que es una constelación de unos 70 satélites que ofrecen cobertura de toda la Tierra. En este modo, la Aerosonda es, literalmente, un teléfono móvil volante y las comunicaciones se producen por medio de un módem.

Los usuarios de la Aerosonda pueden controlar las operaciones del avión y también explotar planes de vuelo revisados utilizando el Entorno de Campo Virtual de la Aerosonda. Este sistema instalado en un ordenador personal combina pantallas de visualización, comandos y comunicaciones en un entorno conjunto (Figura 2), en el que los usuarios pueden vigilar el progreso de la misión desde los ordenadores de su casa, definir nuevas misiones y ofrecer actualizaciones de la misión al Centro de Mando.

Instrumentos meteorológicos

Todas las Aerosondas realizan medidas de temperatura, presión y humedad con un par de instrumentos de radiosonda Vaisala RSS901 colgados en la corriente de aire libre, donde están protegidos de la lluvia y de la radiación solar por el ala del avión. La señal análoga del instrumento se procesa a bordo del avión y las observaciones se suministran, de forma rutinaria, en intervalos de 10 segundos, con disponibilidad de frecuencia de 1 segundo si fuera necesaria. Al inicio y al final de todas las misiones se lleva a cabo un examen completo en tierra para garantizar la precisión de los instrumentos. Los dos conjuntos de instrumentos ofrecen una calibración interna para garantizar que

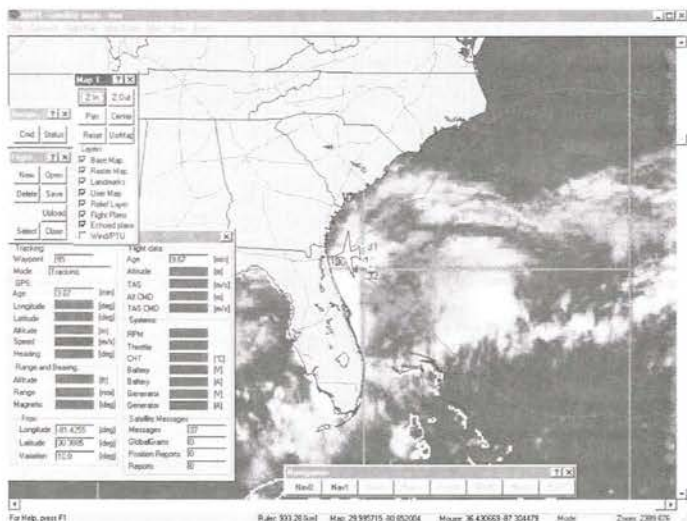


Figura 2 — Instantánea del Entorno de Campo Virtual de la Aerosonda durante una misión de un avión para CAMEX-4

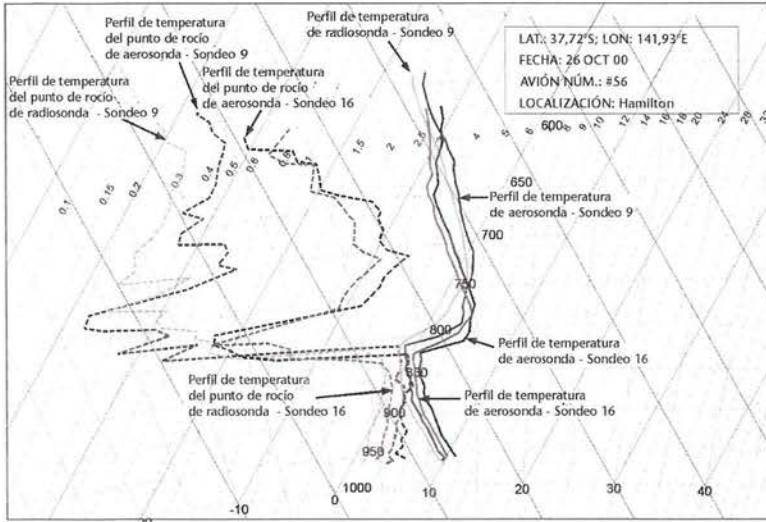


Figura 3 — Comparación de sondeos simultáneos de radiosonda y de Aerosonda en el suroeste de Australia; se muestran dos comparaciones para sondeos separados aproximadamente 10 horas (Jade Soddell, comunicación personal, 2001)

las observaciones no están influenciadas por un instrumento defectuoso y que las misiones puedan continuar si falla un instrumento. Esto es importante especialmente para vuelos largos.

Las observaciones de viento se obtienen mediante un algoritmo patentado que utiliza una combinación de velocidad de tierra GPS, velocidad de aire a partir de un Pitot montado en la proa y una maniobra corta (Holland y otros, 2002). El proceso de búsqueda de viento ofrece una resolución de viento horizontal típica de 300 m.

Las comparaciones de los instrumentos con radiosondas y con otros instrumentos indican que están dentro de la escala típica de observaciones tomadas con radiosondas simultáneas (Figura 3).

Además de la instrumentación estándar, se están desplegando una serie de instrumentos adicionales. Algunos aviones llevan en la actualidad un sensor IR KT11, que ofrece observaciones directas de temperatura de superficie, mientras que otros tienen cámaras capaces de registrar el estado del mar, etc., e incluso algunos tienen detectores de hielo. La instrumentación futura, que se consolida para su integración en los aviones, incluye: química atmosférica (compuestos de azufre y carbono), medidor de alcance láser y radar de apertura sintética para cartografiar las condiciones de la superficie, radiómetros pasivos de microondas, instrumentos de física de nubes, radiómetros y sensores IR de barrido en línea. Varios de ellos tienen un im-

portante uso potencial en el reconocimiento de ciclones tropicales.

Reconocimiento de ciclones tropicales

Desafíos para las operaciones de la Aerosonda

Aunque se ha diseñado la Aerosonda robusta, con capacidad para funcionar dentro de ciclones tropicales, con todo tipo de condiciones meteorológicas y con gran autonomía, hay varios retos. Entre ellos se incluyen: la navegación con vientos fuertes, sobrevivir a las turbulencias, evitar el enge-

lamiento y reducir los efectos de la lluvia intensa y de las condiciones de salinidad.

Debido a que los vientos de ciclones tropicales intensos pueden exceder de forma importante la cobertura de vuelo de la Aerosonda que es de 25 a 35 m s⁻¹, hacen falta una planificación de vuelo y una navegación cuidadosas para lograr que el avión sobreviva y vuelva a un lugar de aterrizaje o de recuperación utilizando su combustible. Los planes de vuelo óptimos se desarrollan utilizando un sofisticado simulador de vuelo, que puede reproducir rápidamente numerosas trayectorias de vuelo en el contexto de los vientos analizadas. Estas simulaciones se realizan, tanto antes como durante el vuelo, para permitir una optimización continua de la navegación de vuelo a medida que el avión atraviesa condiciones variables. En la Figura 4 se muestra un

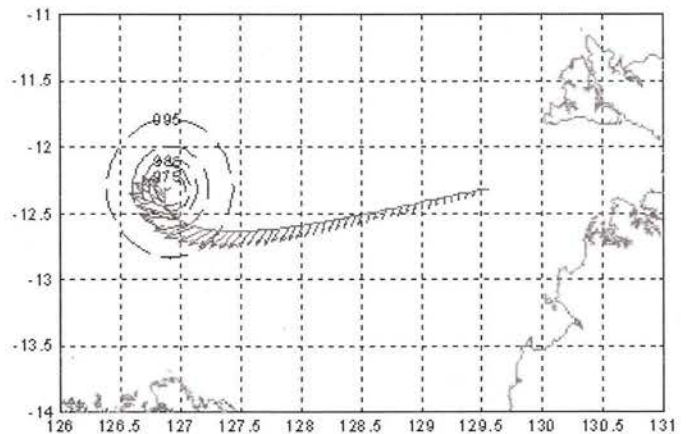


Figura 4 — Plan de vuelo óptimo derivado del simulador de Aerosonda para un ciclón tropical frente a la costa noroeste australiana (Tyrrell y Holland, 2002). También se muestra el campo de presión superficial y los vectores de viento en el nivel de vuelo

Tabla II

Porcentaje de mejora sobre el experimento de control para las predicciones de trayectoria y de intensidad utilizando 1, 5 y 9 Aerosondas (Lance Leslie, comunicación personal, 1998)

Tiempo de la trayectoria (en horas)	Número de aviones			Tiempo de la intensidad (en horas)	Número de aviones		
	1	5	9		1	5	9
0	19%	36%	42%	0	23%	36%	45%
12	17%	37%	43%	12	25%	38%	46%
24	13%	33%	39%	24	19%	38%	46%
36	9%	29%	37%	36	19%	37%	41%
48	10%	30%	38%	48	11%	30%	37%
60	10%	31%	38%	60	4%	23%	27%
72	13%	34%	41%	72	0%	15%	23%

vuelo simulado para un ciclón tropical frente a la costa oeste de Australia.

Los niveles de turbulencia que se experimentan en un ciclón tropical, aunque son altos, no son tan severos como otras condiciones que ha sufrido el avión. Por ejemplo, las Aerosondas han sobrevivido a aceleraciones superiores a 5 veces la fuerza de la gravedad en misiones de tormentas severas. El peligro principal es que un avión atrapado en la corriente ascendente de una tormenta puede ser barrido hacia arriba, bien fuera del régimen de vuelo aprobado o en severas condiciones de engelamiento. Por estas razones, la región que se prefiere para operar en penetraciones al núcleo del ciclón es la situada unos cientos de metros por encima del suelo. También es la región más desprovista actualmente de buenas observaciones de ciclones tropicales. Sin embargo, introduce problemas potenciales de contaminación por sal. Kepert y otros, (1999) han demostrado que las partículas pequeñas de sal pueden subir varios cientos de metros en la atmósfera y que algunas pueden estar en gotitas de salmuera concentrada. Se cree que los efectos inmediatos sobre el rendimiento del avión son mínimos. Sin embargo, los efectos a largo plazo de la corrosión y de la intrusión salina no se conocen bien y solo se conocerán a través de la experiencia de campo.

El engelamiento es más fácil de evitar permaneciendo por debajo del nivel de congelación que, en ciclones tropicales, está típicamente cerca de la altitud máxima de la Aerosonda de 6 km. También puede utilizarse un algoritmo sofisticado de engelamiento (Jade Soddell, comunicación personal, 2000) para alertar de las potenciales condiciones

de engelamiento utilizando la instrumentación meteorológica a bordo. El avión ha demostrado en varias ocasiones que puede aguantar condiciones de lluvia fuerte durante varias horas.

Beneficios potenciales de las observaciones de Aerosonda

Varios estudios han demostrado los efectos positivos del reconocimiento con aviones tripulados sobre la predicción de ciclones tropicales. Se ha demostrado que surgen importantes mejoras para la predicción de trayectorias si se utilizan radiosondas descendentes para ofrecer datos termodinámicos en la periferia de ciclones tropicales (por ejemplo, Abernson y Franklin, 1999). El conocimiento de la intensidad, la localiza-

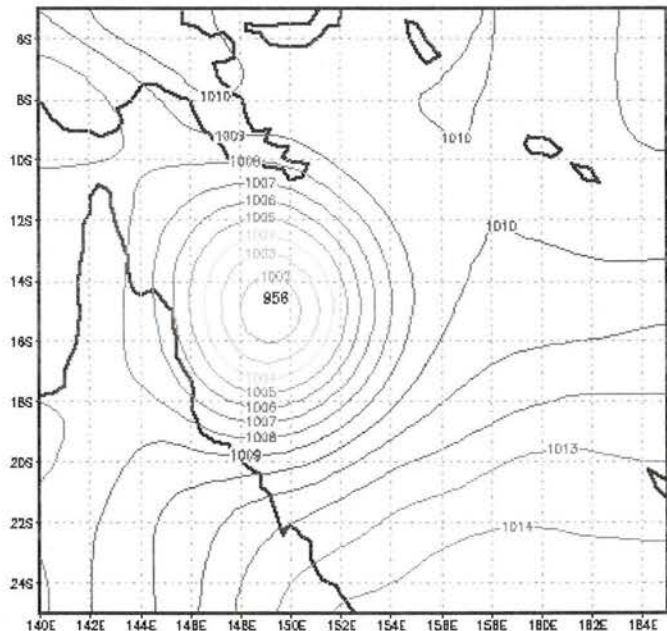


Figura 5 — Ciclón simulado utilizado en el ESSO de Aerosonda (Yuqing Wang, comunicación personal, 1998)

ción y la estructura de la región del núcleo se mejora de forma importante por medio de observaciones directas, en particular en las etapas tempranas de desarrollo del ciclón. Ciertamente, en muchas partes del mundo el esquema de clasificación de Dvorak de intensidad de ciclones, ampliamente utilizado y de gran éxito, no se ha calibrado de forma adecuada debido a la falta de observaciones directas de intensidad. Los últimos trabajos también han demostrado que la capa límite de viento fuerte puede no ser tan sencilla como se supuso previamente (Kepert y Wang, 2001, Wang y otros, 2001), de forma que las estimaciones de vientos de superficie perjudiciales pueden tener errores considerables.

Aquí damos algunos detalles más considerando un Experimento de Sensibilidad del Sistema de Observación en el que se utilizaron datos simulados de Aerosonda en un modelo de ciclón tropical desarrollado por Lance Leslie (comunicación personal, 1998). Los vuelos de la Aerosonda se realizaron en nuestro simulador utilizando una simulación de ciclón tropical de un modelo separado desarrollado por Wang (2001) para ofrecer los datos pseudo-observacionales y la "realidad" para el experimento. El experimento se realizó en un dominio situado frente a la costa este de Australia (Figura 5).

Se hizo una ejecución de control seleccionando datos de la simulación "real" en las situaciones de todos los lugares de observación de aire en altura y superficie de la región. También se incluyó un conjunto de vientos simulados a partir de observaciones de nubes realizadas por satélite similares a los disponibles típicamente en la región. Estos datos se asimilaron en un esquema de cuatro dimensiones a lo largo de 48 horas antes del tiempo cero. Se realizaron varias ejecuciones adicionales con configuraciones distintas de las Aerosondas. En la Tabla II mostramos los resultados para:

- una Aerosonda en el centro tomando sondeos a 500 hPa;
- como en el caso anterior, más cuatro Aerosondas espaciadas uniformemente a 100 km del centro (cinco aviones);
- como en el caso anterior, más cuatro Aerosondas en un radio de 200 km (nueve aviones).

Vemos que una Aerosonda sencilla desplegada en el centro produjo un 10 por ciento de mejora en la predicción de la trayectoria. Si se añaden aviones en el entorno cercano, se logran importantes mejoras adicionales de hasta el 40 por ciento. Estas mejoras se obtuvieron en tiempos de análisis y se mantuvieron a lo largo de todo el período de predicción de 72 horas. Por comparación, hubo mejoras relativas similares en el análisis de la intensidad pero disminuyeron rápidamente con el tiempo de predicción.

Resumen

El sistema de Aerosonda se diseñó específicamente para observaciones meteorológicas en regiones remotas y con tiempo violento, como los ciclones tropicales. Aquí, he descrito el avión y sus capacidades y su modo de funcionamiento. Es un avión pequeño, de gran resistencia, que puede funcionar en todas las condiciones meteorológicas aparte del engelamiento. Al diseñar un avión parcialmente desechable, somos capaces de hacerlo funcionar en zonas peligrosas, como la capa límite del ciclón, ya que la pérdida de un avión no es un asunto importante.

El avión funciona a través de un sofisticado equipo de reconocimiento global, que permite su lanzamiento y recuperación, su mantenimiento, todas las aprobaciones y necesidades de regulación y el mando del avión. El mando se puede ejercer desde cualquier punto, pero generalmente se hace desde el lugar de lanzamiento o desde nuestro centro de mando de Melbourne, en Australia. Un entorno de campo virtual de Aerosonda ofrece a los usuarios información actualizada sobre la misión del avión y la capacidad de diseñar nuevas misiones, todas desde su propio ordenador.

La capacidad de observación incluye un conjunto estándar de parámetros termodinámicos, obteniéndose la presión, la temperatura y la humedad con sensores Vaisala RSS901 y los vientos con un algoritmo patentado. Entre los instrumentos especializados adicionales se incluyen: teledetección de temperatura de superficie, engelamiento de aeronave, cámaras visibles e IR, sensores de microondas activos y pasivos (incluyendo un radar de apertura sintética), sensores químicos, medidor de alcance láser e instrumentos de física de nubes.

No se conocen limitaciones al reconocimiento de ciclones tropicales, aunque la navegación con vientos fuertes, el vuelo robusto bajo turbulencia severa y los efectos potenciales de la sal plantean retos. También he demostrado que el reconocimiento de ciclones tropicales por Aerosondas tiene el potencial de mejorar de forma importante las predicciones. Desgraciadamente, en el momento de escribir esto, hemos ido al campo tres veces para llevar a cabo nuestras primeras misiones de reconocimiento y nunca ha habido ciclones dentro del dominio diseñado y solo se han hecho vuelos en la periferia. Aunque esto ha supuesto buenas noticias para las comunidades costeras, nuestros esfuerzos por probar esta nueva tecnología se han visto frustrados.

Como conclusión, doy las gracias a los distintos grupos de la OMM y del CIUC que defendieron este proyecto en sus primeras etapas y sin cuyo apoyo no hubieran estado disponibles los fondos necesarios

para su desarrollo. Entre ellos se encuentran el Programa de Investigación de Meteorología Tropical de la CCA y el Decenio internacional de las NU para la Reducción de los Desastres Naturales. También doy las gracias personalmente a Sir James Lighthill, del CIUC, por su incansable apoyo y entusiasmo.

Referencias

ABERSON, Sim D., James L. FRANKLIN, 1999: Impact on Hurricane Track and Intensity Forecasts of GPS Dropwindsonde Observations from the First-Season Flights of the NOAA Gulfstream-IV Jet Aircraft. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 80, 421-428.

HOLLAND, G. J., T. MCGEER y H. YOUNGREN, 1992: Autonomous Aerosondes for economical atmospheric soundings anywhere on the globe. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 73, 1987-1998.

HOLLAND, G. J., P. J. WEBSTER, J. CURRY, G. TYRRELL, D. J. GAUNTLETT, G. BRETT, J. BECKER, R. HOAG y B. VAGLIENTI, 2000: The Aerosonde robotic aircraft: A new

paradigm for environmental observations. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 82, 889-902.

KEPERT, J. D., C. W. FAIRALL y J.-W. BAO, 1999: Modelling the interaction between the atmospheric boundary layer and evaporating sea spray droplets. En *Air-Sea Exchange-Physics, Chemistry and Dynamics*, Ed. Gary Geernaert, pp. 363-410. Kluwer, 578 pp.

KEPERT, Jeff, Yuqing WANG, 2001: The Dynamics of Boundary Layer Jets within the Tropical Cyclone Core. Part II: Nonlinear Enhancement. *J. Atmos. Sci.*, 17, 2485-2501.

TYRRELL, G. y G. J. HOLLAND, 2002: Small, long endurance drone aircraft for monitoring the hurricane core. *Coping with Hurricanes. American Geophysical Union* (en imprenta).

WANG, Yuqing, 2001: An Explicit Simulation of Tropical Cyclones with a Triply Nested Movable Mesh Primitive Equation Model: TCM3. Part I: Model Description and Control Experiment. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 1370-1394.

WANG, Y., J. D. KEPERT y G. J. HOLLAND, 2001: The effect of sea spray evaporation on tropical cyclone boundary-layer structure and intensity. *Mon. Wea. Rev.*, 58, 2485-2501.

Predicción por conjuntos de ciclones tropicales

267

Por Johnny C. L. CHAN*

Introducción

Desde principios de la década de los noventa, la técnica de la predicción por conjuntos (EF) se ha utilizado para realizar predicciones meteorológicas en muchos centros meteorológicos mundiales como una alternativa a las predicciones tradicionales a partir de una solución única de un modelo de predicción numérica del tiempo (PNT). La idea que apoya la EF es bastante sencilla. La teoría del caos, propuesta originariamente por Lorenz (1963), sugiere que las soluciones numéricas a partir de condiciones iniciales ligeramente diferentes podrían diverger con el tiempo: el llamado "efecto mari-

Los ciclones tropicales representan uno de los sistemas meteorológicos más destructivos, constituyendo cada año una amenaza para muchas zonas del mundo. Toda mejora en la precisión de las predicciones de su trayectoria ofrecerá más tiempo de ventaja para emitir avisos, que ayudarán a reducir las muertes y las pérdidas de bienes materiales. La preparación contra los desastres y su mitigación son dos temas muy importantes del desarrollo sostenible que se tratarán en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, que se celebrará en Johannesburgo, en Sudáfrica, en agosto / septiembre de este año.

posa". Como los errores son inherentes a las observaciones meteorológicas (y oceanográficas) que se utilizan como condiciones iniciales para los modelos de PNT, una predicción meteorológica basada en unas condiciones iniciales podría ser errónea, incluso aunque el modelo fuera perfecto. Por otra parte, si se pudieran perturbar las condiciones iniciales de forma que los valores perturbados representen la distribución del error en las observaciones, el "conjunto" de soluciones a partir de estas condiciones iniciales perturbadas (designada cada una como un miembro del conjunto) debería envolver a la solución verdadera y al verdadero estado futuro

* Laboratorio de Investigación Atmosférica, Departamento de Física y Ciencia de Materiales, Universidad de la Ciudad de Hong Kong, Hong Kong, China.