

Avances en la predicción del movimiento de ciclones tropicales y recomendaciones para el futuro

por Russell L. Elsberry*

Importancia del movimiento de los ciclones tropicales

Comprender y predecir el movimiento de los ciclones tropicales ha sido una cuestión clave en los seis Cursos Internacionales sobre Ciclones Tropicales (IWTC) de la OMM copatrocinados por el Programa de Investigación sobre Meteorología Tropical (PIMT) de la Comisión de Ciencias Atmosféricas (CCA) y por el Programa de Ciclones Tropicales de la Vigilancia Meteorológica Mundial. Estos IWTC, que se celebran cada cuatro años, reúnen a predictores e investigadores de ciclones tropicales para revisar los progresos alcanzados durante los cuatro años anteriores y planificar el futuro.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo del progreso que se ha alcanzado en la predicción operativa del movimiento de los ciclones tropicales. Los errores medios de la predicción de la trayectoria a 72 horas, a lo largo de cinco años, obtenida por los centros operativos de alerta se han reducido significativamente en todas las cuencas de ciclones tropicales. Excepto para el Pacífico Norte Oriental, los errores de trayectorias a 72 horas están ahora típicamente entre los 320-350 km en todas las cuencas, lo que supone una reducción de aproximadamente un 50 por ciento desde principios de la década de 1990.

* Ponente de Ciclones Tropicales, grupo de trabajo OMM/CCA sobre Investigación en Meteorología Tropical

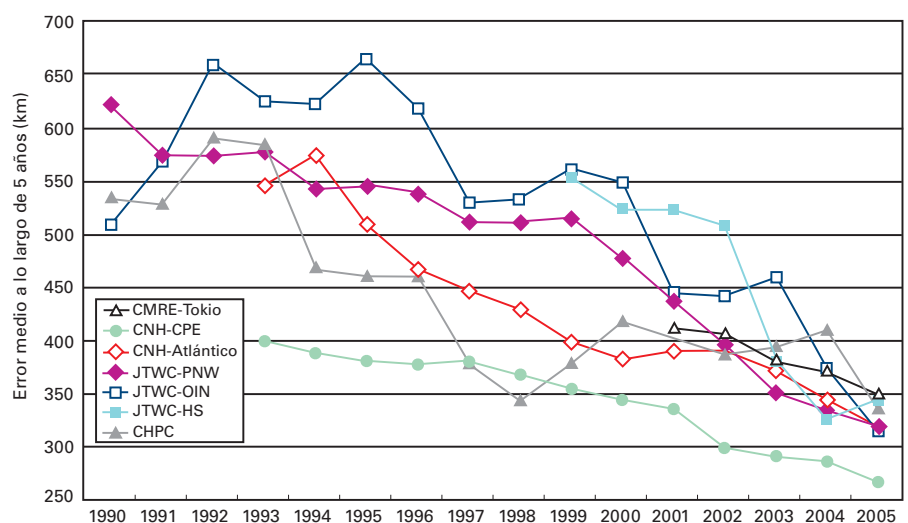


Figura 1 – Tendencias en los errores de la predicción de la trayectoria a 72 horas de los ciclones tropicales promediados durante cinco años, obtenidas por algunos centros operativos de alerta de ciclones tropicales (proporcionado por T.-C. Lee, tema 3.1 del IWTC-VI. Esta y otras figuras del IWTC-VI están disponibles en <http://severe.worldweather.wmo.int/iwtc>).

Dos desarrollos principales han contribuido a estas mejoras en la predicción de trayectorias:

- la guía mejorada para determinar trayectorias a partir de modelos de predicción numérica del tiempo (PNT); y
- la adopción del enfoque consensuado para la predicción de trayectorias.

Se ha perfeccionado la guía de modelos numéricos en la medida que se han mejorado las observaciones del entorno y de la estructura de los ciclones tropicales y se ha optimizado la utilización de las observaciones existentes (especialmente de los vientos por medio del satélite) en unos mejores sistemas de asimilación de datos. También han

contribuido a mejorar la guía para la determinación de trayectorias la disponibilidad de una mayor resolución horizontal en los modelos mundiales y regionales, así como la realización de mejores representaciones físicas del entorno y de la estructura de los ciclones tropicales. Estos desarrollos han llevado a las recomendaciones principales del IWTC-VI celebrado en San José de Costa Rica, en noviembre de 2006, respecto a mantener, e incluso aumentar, los datos de teledetección, especialmente los datos de microondas y de dispersómetro.

El segundo desarrollo importante de los últimos cuatro años referido a la predicción de consenso se documentó en los temas 3.1 y 3.2 (los informes sobre los temas están disponibles en <http://severe.worldweather.wmo.int/iwtc>) del

IWTC-VI, y de ahí se llegó a una sesión focal especial sobre “Cómo compartir experiencias en la predicción operativa de consenso de la trayectoria”. El interés del predictor demostrado en esta sesión especial condujo a la importante recomendación de “facilitar la difusión de todos los productos de predicción numérica del tiempo (PNT) relacionados con los ciclones tropicales” de modo que la predicción de consenso pueda aplicarse a más centros de alerta de ciclones tropicales. Por ejemplo, la Agencia Meteorológica de Japón ha puesto a disposición de los miembros del Comité de Tifones de la OMM una página web protegida por contraseña que contiene trayectorias y campos de varios centros de PNT. El tema 3.2 incluía un listado de los modelos mundiales y regionales que podrían utilizarse para predecir trayectorias de ciclones tropicales y una orientación sobre los futuros planes para estos modelos.

Dado el progreso en las predicciones de trayectorias a 72 horas que se muestra en la Figura 1, los centros de alerta de EEUU empezaron a emitir predicciones a 120 horas en 2003. Por ejemplo, los errores de predicción a 120 horas del Centro Nacional de Huracanes (Figura 2) son del orden de 250 m.n. (463 km), que es aproximadamente la misma precisión que las predicciones a 72 horas de hace una década. La Administración Meteorológica de Corea está pensando extender las predicciones a 120 horas en 2008.

Teniendo en cuenta estos grandes avances en la predicción del movimiento de los ciclones tropicales para intervalos de tiempo mayores, cabría suponer que el movimiento de los ciclones tropicales ha reducido su importancia. Sin embargo, la cuestión esencial del IWTC-VI en materia de requisitos de un sistema de alerta eficaz ofreció una evidencia sólida de que queda mucho por hacer con la predicción del movimiento de los ciclones tropicales respecto a los impactos de la llegada a tierra. En primer lugar, en el tema 0.1 se presentaron ejemplos de la dispersión de las trayectorias determinadas según la guía de modelos numéricos para predicciones de llegada a tierra críticas, lo que ha conducido a productos en términos de probabilidad que expresan una incertidumbre de la predicción de ciclones tropicales a diversos tipos de usuario.

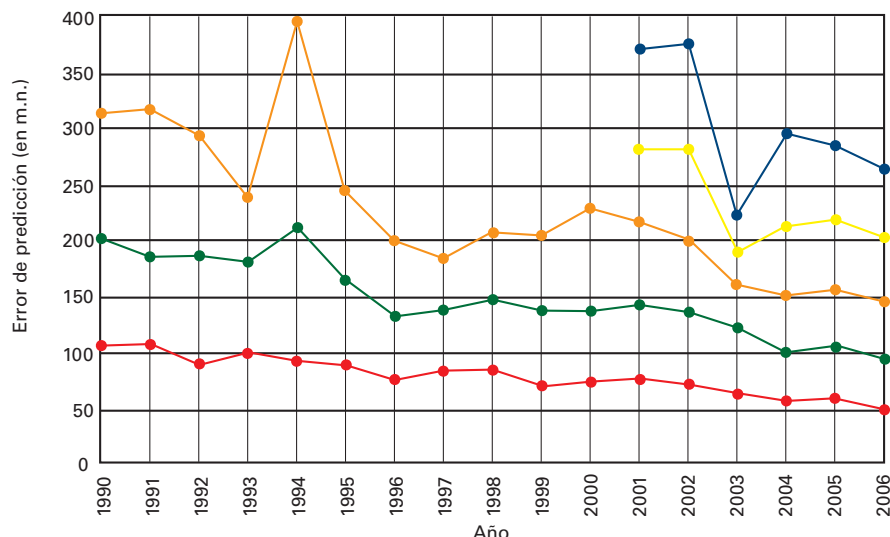


Figura 2 – Tendencias a largo plazo en los errores de predicción de trayectorias de ciclones tropicales atlánticos anuales (1 milla náutica= 1,85 km) en el Centro Nacional de Huracanes de EEUU. Obsérvese que los errores de predicción a 120 horas (publicados oficialmente solo desde 2003) tienen magnitudes similares a los errores para 72 horas de hace una década (proporcionado por L. Ávila, tema 0.1 del IWTC-VI).

La distribución de la precipitación asociada a los ciclones tropicales que se discutió en el tema 0.3 depende críticamente de la trayectoria, tanto del recorrido concreto como de la velocidad de traslación, ya que incluso las tormentas tropicales que se mueven lentamente sobre una zona pueden originar acumulaciones extremas de precipitación. Que un ciclón tropical interactúe con las características topográficas y ocasione máximos locales de precipitación depende del movimiento, al igual que el grado en que esto ocurra. De forma similar, un desvío relativamente pequeño de la trayectoria de llegada a tierra puede significar la diferencia entre una marea de tempestad desastrosa (tema 0.4) en una localización costera o una marea baja extrema en el lado opuesto de la trayectoria, donde existen vientos terrales.

Finalmente, la aparición y magnitud de los desastres relacionados con la hidrología, considerados en el tema 0.5, dependen tanto (o más) del recorrido de los ciclones tropicales y de la velocidad de traslación como de la distribución de precipitaciones. Por lo tanto, a partir de estas presentaciones en el IWTC-VI surgieron importantes contribuciones del colectivo de predictores, quienes necesitan también una mayor precisión de la trayectoria para llevar a cabo predicciones de la posición de llegada a tierra para intervalos de tiempo más cortos.

Puntos destacados de la futura predicción de trayectorias

Continuando con las actividades relativas a los dos desarrollos principales anteriores, que ya han contribuido a perfeccionar la predicción de trayectorias, se considera que habrá posibles mejoras adicionales para intervalos de predicción más largos:

- Nuevos progresos en la guía de modelos numéricos mediante observaciones, asimilación de datos y mejoras del modelo numérico.
- Incorporación de modelos más competentes y uso óptimo de la guía de consenso cuando haya pocos modelos disponibles. Para el primer punto, se están desarrollando modelos mundiales más avanzados en varios países, de modo que la introducción de las condiciones iniciales que representan los ciclones tropicales en todas las cuencas donde existen podría traducirse en modelos más competentes para su uso en la predicción de consenso de la trayectoria. Para utilizar de forma óptima el enfoque de consenso se necesita caracterizar cuándo es probable que cada uno de estos modelos sea erróneo. En las recomendaciones principales

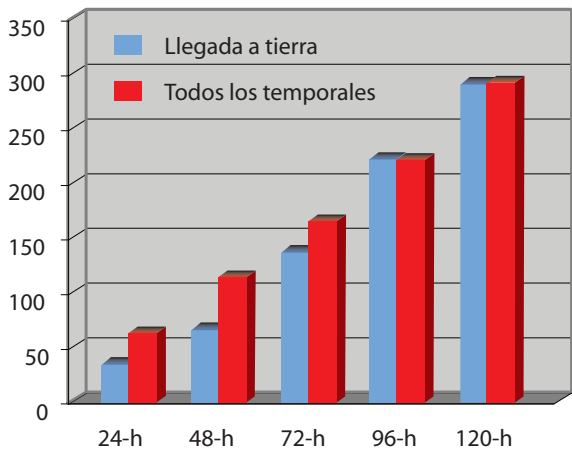


Figura 3 – Comparación de los errores de la predicción de trayectorias de los ciclones tropicales atlánticos (1 milla náutica: 1,85 km) a distintos intervalos de predicción para los casos de llegada a tierra (barras azules) frente a todos los temporales (barras rojas) (proporcionado por L. Ávila, tema 0.1 del IWTC-VI).

del IWTC-VI se incluyen estos requisitos para futuras mejoras. Otra recomendación es que la OMM desarrolle programas de formación profesional para la predicción de consenso.

La necesidad del colectivo de predictores de disponer de una mayor precisión en la trayectoria de las posiciones de llegada a tierra de 12 a 36 horas requiere una atención especial. En primer lugar, hacen falta las posiciones del centro del ciclón tropical con alta resolución temporal para las predicciones a corto plazo. En segundo lugar, se necesitan observaciones de la estructura del viento y de la precipitación en el vórtice (por ejemplo, radar Doppler) para iniciar el modelo numérico, lo que también implica emplear tecnologías avanzadas de asimilación de datos. En tercer lugar, serán necesarios modelos mesoescalares de alta resolución que incluyan modelos acoplados de atmósfera-oceano-tierra. Si se dispone de mejores predicciones de trayectoria de 12 a 36 horas habrá mejores predicciones de los efectos de los vientos dañinos, precipitación y marea de tempestad asociados al ciclón tropical durante la llegada a tierra. Se requerirán también algunas técnicas de predicción inmediata para actualizar la guía para trayectorias más largas con observaciones locales.

En el tema 0.2, L. Ávila, del Centro Nacional de Huracanes de EEUU, comparó los errores medios de la predicción de trayectorias para llegadas a tierra durante 2001-2005 con los de todos los temporales durante ese período (Figura 3). Los errores de la predicción a 24 y 48 horas de llegada a tierra fueron aproximadamente un 40 por ciento menores que para el total de temporales, con

valores de aproximadamente 35 m.n. (65 km) y 60 m.n. (111 km), respectivamente. Se piensa que la introducción de observaciones de radar desde aeronaves específicas en los sistemas avanzados de asimilación de datos y en los modelos de mayor resolución mejorará aún más las predicciones de llegada a tierra en EEUU.

Como se señaló anteriormente, la guía para la trayectoria a más largo plazo de los diversos modelos numéricos puede variar, en ocasiones, ampliamente. En algunos casos, una trayectoria atípica puede manifestar un error en las condiciones iniciales del modelo numérico. En otros casos, la variabilidad es una indicación de gran incertidumbre en la

situación de la predicción. J. Goerss, del Laboratorio de Investigación Naval de Monterrey, ha descrito en la sesión focal especial 3a del IWTC-VI un nuevo método para calcular la confianza de la predicción de trayectorias basándose en la dispersión de la guía de modelos dinámicos. En cualquier momento, la dispersión entre las diversas trayectorias es pequeña (por ejemplo, 314 m.n. ó 695 km) para el caso mostrado.

Un sistema de predicción por conjuntos (EPS) es otra herramienta para estimar esta incertidumbre en diferentes situaciones. Por lo general, la media de las trayectorias miembros del EPS no es mejor que la trayectoria del modelo determinista correspondiente para ese centro de PNT, puesto que el modelo numérico utilizado para el EPS ha de ser una versión degradada del modelo determinista para que el EPS se integre con muchos miembros en un tiempo limitado. Por tanto, el objetivo primario del EPS para ciclones tropicales es estimar la incertidumbre de la trayectoria a partir de la dispersión de las trayectorias de predicción del EPS.

En 2005, las dispersiones de trayectorias calculadas a partir de los EPS del Centro Europeo de Predicción Meteoroló-

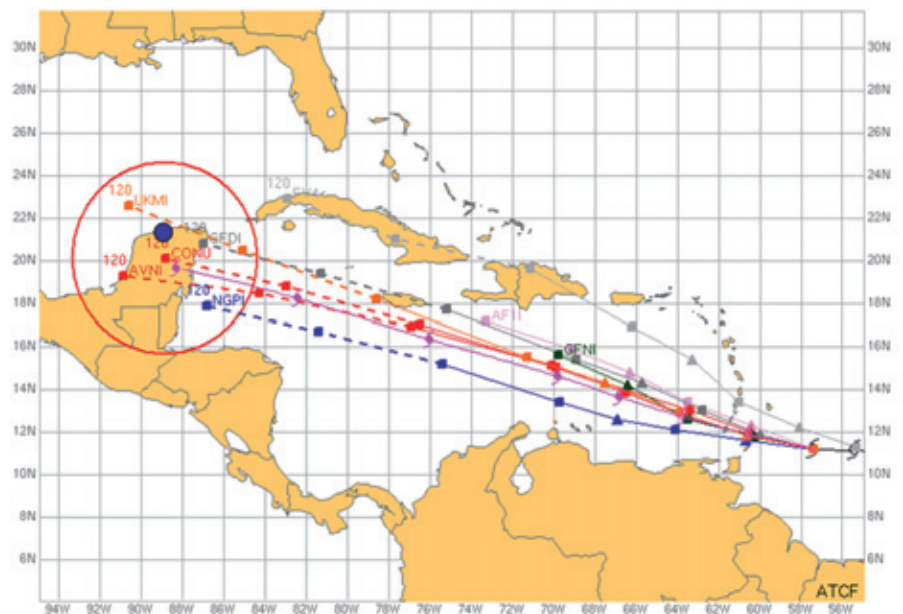


Figura 4 – Ejemplo de un círculo alrededor de la posición media de consenso de la predicción a 120 horas (instante inicial 1200 UTC 13 de julio de 2005 para la tormenta tropical Emily) donde se espera que caigan aproximadamente un 72 por ciento de todos los temporales en el intervalo de tiempo indicado. Cuanto mayor sea la dispersión entre las múltiples trayectorias, el círculo será mayor para indicar una mayor incertidumbre en la media de la predicción de consenso (proporcionado por J. Goerss, Laboratorio de Investigación Naval de Monterrey).

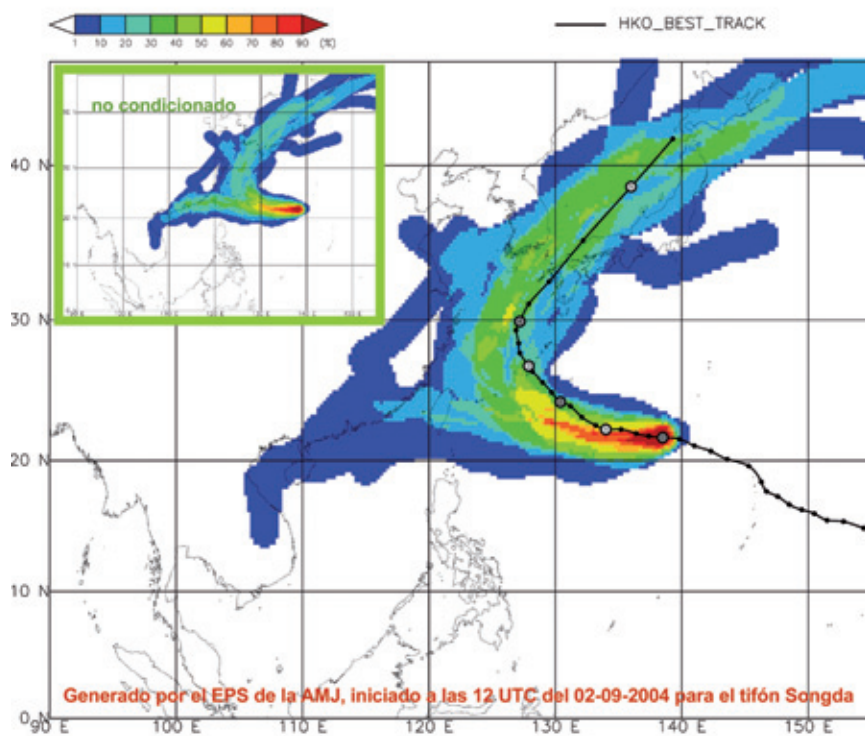


Figura 5 – Casos condicionado y no condicionado (recuadro) del sistema de predicción por conjuntos de la Agencia Meteorológica de Japón iniciado a las 12 UTC del 2 de septiembre de 2004 para el tifón Songda. Obsérvese que la probabilidad condicionada (porcentual) de la trayectoria del ciclón tropical ofrece una representación más exacta del recorrido real (línea oscura con círculos) (proporcionado por T.-C. Lee, tema 3.1 del IWTC-VI).

gica a Medio Plazo (CEPMMP) y de los Centros Nacionales de Protección del Medio Ambiente de EEUU (NCEP), no fueron un buen indicador del error de la predicción de trayectorias. Se necesita algún posproceso de las trayectorias del EPS, quizás a lo largo de las líneas de los mapas de probabilidad de rumbo condicionado para el tifón *Songda* de la Figura 5. El Gran conjunto interactivo mundial de THORPEX (TIGGE) del PMIM de la OMM aumentará en gran medida el número de trayectorias del EPS, y esto da lugar a las dos recomendaciones principales del IWTC-VI referentes a facilitar la difusión de predicciones por conjuntos y a que los centros de PNT y el TIGGE desarrollen productos de predicción probabilística.

En el tema 3.3 se han resumido los últimos progresos alcanzados en el uso de observaciones de aeronaves dirigidas para mejorar las predicciones de trayectorias de los ciclones tropicales. Aunque la capacidad de desplegar radiosondas descendentes en el entorno de los ciclones tropicales se ha limitado ante-

riormente a los EEUU, el programa de Observaciones de radiovientosondas para la vigilancia de tifones cerca de la región de Taiwán (DOTSTAR) ha expandido el uso de las observaciones dirigidas. En el tema 3.3 se describen cuatro técnicas para determinar las regiones más sensibles en el momento de la observación. A veces, las zonas sensibles se encuentran en la región del ciclón tropical y en otras ocasiones las zonas sensibles están alejadas del mismo. Aunque solamente se presentaron comparaciones preliminares de los errores de predicción para análisis basados en diferentes técnicas dirigidas en el IWTC-VI, se celebró una sesión de planificación a fin de desarrollar una estrategia para evaluar más ampliamente las distintas técnicas.

Comentarios finales

En el IWTC-VI se ha destacado la importancia de predecir las trayectorias de los ciclones tropicales. A causa de haber conseguido espectaculares mejoras en

las predicciones de trayectoria a 72 horas a partir de una guía numérica mejorada y de enfoques de consenso, se llevaron a cabo extensiones de las predicciones hasta las 120 horas que son tan precisas como las predicciones a 72 horas de hace justo diez años. Para continuar estos avances, el IWTC-VI recomendó:

- mantener, e incluso aumentar, los datos de teledetección, especialmente los datos de microondas y dispersómetro; e
- introducir las condiciones iniciales que representan ciclones tropicales en los modelos mundiales avanzados que se están desarrollando en varios países, de modo que se disponga de unas trayectorias de modelo más fiables para la predicción de consenso.

Una de las principales recomendaciones del IWTC-VI es que la OMM facilite la transferencia de esta tecnología a las naciones en vías de desarrollo, incluyendo formación profesional, estaciones de trabajo adecuadas e infraestructura de comunicaciones. El colectivo de predictores planteó también la necesidad de perfeccionar las predicciones de la posición de llegada a tierra para mejorar las alertas de las regiones de vientos dañinos, precipitaciones intensas y mareas de tempestad. Para cumplir este requisito se necesitarán altas resoluciones temporales en las posiciones del centro, una tecnología avanzada de asimilación de datos que incorpore observaciones de la estructura del viento y de la precipitación en el vórtice, unos modelos mesoescalares de alta resolución y técnicas de predicción inmediata.

Probablemente el futuro se centre en las predicciones probabilísticas que apoyen la evaluación de riesgos. De aquí surgen las dos recomendaciones principales del IWTC-VI, referentes a que la OMM facilite la difusión de predicciones por conjuntos y que los centros de PNT y el programa TIGGE de la OMM desarrollen productos de predicción probabilística. Cabe esperar que en el IWTC-VII de 2010 se informe de este tema y de avances adicionales en materia de predicción de ciclones tropicales.