

Los huracanes: análisis y predicción

Francisco Valero

Director del Master en Riesgos Climáticos e Impacto Ambiental
Universidad Complutense de Madrid

(Artículo publicado en www.madrimasd.org, el 17 de febrero de 2005)

El huracán Iván ha puesto de relieve las dificultades que todavía hoy tenemos para predecir la trayectoria de los huracanes. Muertes donde no se esperaban, evacuaciones innecesarias, alarmas que podían haberse evitado, cuestionan los modelos usados.

En contra de lo que puede parecer por lo acaecido hasta ahora en este año 2004, podemos afirmar que en los dos últimos decenios han afectado a los Estados Unidos de América muchos menos huracanes que en los tres anteriores del siglo pasado. A efectos de aclarar esta afirmación vamos a indagar a través de estas líneas algunas de las razones de este hecho al mismo tiempo que trataremos de establecer algún patrón de comportamiento previsible para el próximo decenio. Con esto objeto, comenzaremos este artículo condensando el estado de conocimiento actual sobre este tipo de depresiones meteorológicas. A diferencia de las borrascas ondulatorias atmosféricas, que se crean en el cinturón de los vientos de poniente en latitudes medias, en latitudes bajas, donde predomina la componente este de los alisios, se forman otra clase de perturbaciones. Estas perturbaciones están constituidas por aire caliente, son en general de gran virulencia y se denominan ciclones tropicales. Un *ciclón tropical* es el término genérico que se emplea para referirnos a un sistema de baja presión sobre aguas tropicales o subtropicales con escala sinóptica no frontal, convección organizada (acompañada habitualmente con actividad de tormentas eléctricas) y una definida circulación ciclónica del viento en la superficie.

Empezaremos la descripción haciendo un somero repaso a las definiciones actualmente en uso de este tipo de fenómenos. Los ciclones tropicales intensos adoptan denominaciones específicas regionales tales como *huracán* en el Caribe, *tifón* en el Pacífico asiático, *willy-willy* en el Norte de Australia, *ciclones o huracanes* del Índico o *baguío* en Filipinas. Si nos circunscribimos a la cuenca atlántica, los ciclones tropicales con vientos máximos sostenidos (usando el estándar USA de promedio minutil) en la superficie de hasta 17 m/s (~60 km/h) son llamados *depresiones tropicales*. Una vez los ciclones tropicales superan vientos con este umbral y alcanzan velocidades de hasta 34 m/s (~ 120 km/h) se les denomina *tormenta tropical* y es entonces cuando se les asigna un nombre por orden alfabético. En estos sistemas la convección se concentra cerca del centro del sistema y la lluvia se organiza en bandas externas. Muchos se extinguen antes de alcanzar zonas pobladas, por lo que no se les asigna nombre alguno. Hasta los años 70 la lista de nombres se componía exclusivamente de patronímicos femeninos, aunque desde entonces, y para evitar "discriminaciones de género", se alternan los nombres de hombres y mujeres. Un *huracán* es un ciclón violento que se origina habitualmente en los océanos tropicales a finales de verano y principio de otoño. Sus velocidades máximas sostenidas superan los 34 m/s (~ 120 km/h). Los huracanes son clasificados de acuerdo cinco categorías en orden creciente de intensidad, desde la 1 (débil) a la 5 (muy intenso), según la escala de Saffir-Simpson. Los de las categorías 3, 4 y 5 se denominan huracanes intensos o mayores.

No resulta fácil establecer los mecanismos que conducen al nacimiento de un ciclón tropical. Sin embargo, conocemos algunos mecanismos preferentes. En principio, se requiere la existencia de una onda en los alisios tropicales que provoque un abombamiento en la Zona de Convergencia Intertropical (cuyo acrónimo en inglés es ITCZ) de un modo similar al que se produce en el frente polar, en nuestras latitudes, para dar origen a una borrasca ondulatoria. La ondulación de la ITCZ que, al contrario de las del frente polar, se propaga de E a W como una *onda del Este*, raras veces es ciclogénica como las del frente polar. Para que esto ocurra la onda debe volverse inestable. ¿Qué ha de ocurrir para esto? Pues que la ITCZ reciba, por así decir, un empuje anormal que la rompa haciendo surgir, en virtud de la fuerza desviadora de Coriolis, un remolino de aire que restablezca el equilibrio. En estas condiciones el ciclón ya está en marcha y sólo falta alimentarlo. La mayoría de estas perturbaciones son débiles y se extinguen en pocos días, aunque algunas consiguen inestabilizarse y comienzan a crecer en tamaño y complejidad. En promedio, se producen cerca de 60 ondas sobre África del Norte cada año. Si bien sólo cerca del 60% de las tormentas tropicales y huracanes secundarios del Atlántico (categorías 1 y 2 en la escala Saffir Simpson) se originan de ondas del Este, casi el 85% de los huracanes intensos o mayores tienen sus orígenes en este tipo de ondas. En la actualidad se desconoce aún completamente cómo las ondas del Este cambian de año en año, tanto en intensidad como en localización y cómo se relacionan con la actividad ciclogénica en el Atlántico.

¿Qué diferencias presentan los ciclones tropicales respecto a las tormentas localizadas en latitudes medias? El ciclón tropical es un sistema de baja presión que obtiene su energía principalmente de la evaporación del mar en presencia de vientos fuertes en superficie y de la condensación asociada con las nubes convectivas concentradas cerca de su centro. Las tempestades de las latitudes medias (sistemas de baja presión asociados a frentes fríos, frentes cálidos y frentes ocluidos) obtienen su energía principalmente de los gradientes de temperatura horizontal existentes en la atmósfera. Estructuralmente, los ciclones tropicales manifiestan sus vientos más fuertes cerca de la superficie de la tierra (una consecuencia de su estructura cálida en la troposfera), mientras que en las tempestades de las latitudes medias son cerca de la tropopausa (por presentar un núcleo cálido en la estratosfera y otro frío en la troposfera).

Pero, ¿cómo se consolidan y desarrollan los ciclones tropicales que puedan dar lugar a huracanes? La formación e intensificación de los ciclones tropicales está gobernada por muchos factores cuyas interacciones e importancia relativa aún no son plenamente conocidas. Las condiciones óptimas para el desarrollo de ciclones tropicales incluyen, sin embargo, una combinación de características vinculadas a la circulación de la atmósfera (parámetro de Coriolis), a factores geográficos y a factores termodinámicos.

Para que una pequeña perturbación se transforme en un sistema meteorológico de inmensa potencia ha de producirse la interacción entre los vientos de las capas superiores e inferiores de la troposfera. Normalmente en los trópicos dicha interacción es pequeña: los vientos superiores son en general ligeros, con débiles estructuras de convergencia o divergencia. Pero cuando una zona de divergencia del viento en altura pasa sobre una perturbación formada recientemente, posee el efecto de una bomba de succión que tira del aire ascendente y hace que la convergencia a nivel del mar sea más fuerte. En síntesis, han de darse una serie de precursores:

- El *desplazamiento de la perturbación de la línea ecuatorial*: La intensificación de los vórtices tropicales ha de estar desplazada al menos unos 5° del ecuador. Sin la existencia de la fuerza de Coriolis no podría mantenerse la baja presión que resulta indispensable para que la perturbación tenga las características de ciclón. Ya separado del ecuador, cualquier flujo de aire que converja en una "depresión" es desviado por la fuerza de Coriolis, estableciéndose inmediatamente una estructura espiral. Ni siquiera esto causará el nacimiento de un huracán, ya que normalmente la circulación en altura se desacopla pronto de la que existe abajo.
- Se requiere así mismo de un *embolsamiento de agua oceánica muy cálida en superficie* que produzca cantidades ilimitadas de humedad, que son el verdadero motor energético que permite mantener la circulación del ciclón tropical al ceder a éste enormes cantidades de calor latente y sensible de la superficie. El mar ha de estar al menos a 26°C en una profundidad de 60 m o más.
- Unas *condiciones de la atmósfera potencialmente inestables* que favorezcan el efecto "tiro de chimenea": una atmósfera que se enfríe rápidamente con la altura que cree e intensifique la convección húmeda. Tengamos en cuenta que es la actividad tormentosa la que permite que el calor retenido en las aguas oceánicas sea liberado para el desarrollo del ciclón tropical.
- La *existencia de una perturbación cerca de la superficie* con suficiente vorticidad y convergencia: los ciclones tropicales no se generan espontáneamente. Para desarrollarse han de constituir meramente un sistema con cierto grado de organización con spin considerable y entrada de flujo de bajo nivel al mismo.
- Que se favorezca o no el desarrollo de los ciclones tropicales está relacionado con otro precursor muy importante que es la *cortante vertical del viento*, es decir, la magnitud del cambio del viento con la altura en la troposfera. Los valores grandes desorganizan a los ciclones tropicales incipientes evitando su génesis o inhibiendo e incluso destruyendo uno ya formado al interferir con la convección profunda organizada alrededor del centro del ciclón mediante el desacoplamiento de la circulación de la troposfera superior e inferior.

Una vez verificadas todas estas condiciones el aire que comienza a elevarse se vuelve más caliente, razón por la cual se eleva más deprisa y facilita un mayor aporte de aire cargado de humedad a nivel del mar que se eleva y eleva liberando aún más calor y creando una especie de reacción en cadena que pone en marcha la máquina energética capaz de crear un huracán a gran escala con vientos violentos que giran en espiral hacia dentro con el resultado de enormes nubes cumuliformes y lluvia torrencial, y una columna de aire cálido descendiendo suavemente en el centro sin o con poca nubosidad (ojo del huracán). Si el aire ascendente no contuviese suficiente humedad o si fuese demasiado frío la reacción en cadena nunca tendría lugar. Por eso, cuando un huracán se mueve sobre agua más fría o sobre tierra pierde su fuente de energía y se debilita.

Para adentrarnos en los órdenes de magnitud característicos de estos sistemas, he aquí algunos datos sobre los huracanes de la cuenca atlántica, algo más débiles por término medio que los de la cuenca del Pacífico. La *presión mínima absoluta* es de 888 mb (septiembre de 1988) que corresponde al huracán Gilbert. La presión de este huracán se

desplomó en tan sólo 24 horas desde 960 mb hasta dicho valor a un ritmo de 3 mb/hora, lo cual forzó a un rápido aumento de la velocidad máxima sostenida desde 57 m/s (~ 205 km/h) hasta 82 m/s (~ 295 km/h) en ese mismo periodo. Pero de todos estos indicadores de virulencia del fenómeno tal vez el que mayor atención despierta es la altura de la ola marina que se produce por efecto de estos intensísimos vientos. Con notable frecuencia suele ser de algún metro. El máximo absoluto conocido es de 13 m, si bien no en la cuenca atlántica sino en Australia producida por el huracán Barthurst-Bay en 1899. Se han producido precipitaciones que han llegado a superar los 1000 mm en 12 horas hasta 5000 mm en 10 días. En cuanto a su duración, estamos en condiciones de afirmar que al menos una docena de huracanes atlánticos han superado una vida media de 15 días ya sea en su categoría de tormenta o de huracán. En su máxima manifestación (categoría 5) son bastantes los que han alcanzado este potencial durante al menos 24 horas.

La estadística nos dice que en promedio la cuenca atlántica es invadida cada año por 10 tormentas tropicales, 6 huracanes y 2 huracanes intensos. La estación de huracanes hasta octubre de este año, con 12 tormentas que han merecido el calificativo de ser nominadas, 7 huracanes y 6 huracanes mayores, ha presentado una actividad neta muy superior a la media de 1950-2000 con la característica inhabitual de que tres de los huracanes intensos y uno de categoría 2 experimentaron recorridos terrestres. Dos de ellos tuvieron vidas muy largas (Frances con 7,25 días e Iván con 10 días), constituyendo la duración de este último la más larga observada por un ciclón tropical simple desde 1900. Otro rasgo distintivo es que la estación actual constituye la octava estación de huracanes de las últimas diez, dato que enriquece la evidencia de que estamos en una nueva era de actividad en la cuenca atlántica. Los dos únicos años de este periodo que se apartan de esta tendencia (1997 y 2002) fueron ambos años con desarrollo de El Niño. Esta cuenca en los últimos diez años ha tenido una media de 3,8 huracanes mayores por año mientras que los 25 años previos a este periodo solamente registraron una media de 1,5 huracanes mayores por año. Las condiciones atmosféricas y oceánicas que controlan estas fluctuaciones de periodo largo en la actividad ciclónica se conocen como señal multidecadal atlántica.

Son muchos los riesgos que conllevan estas entidades atmosféricas naturales. En síntesis, los peligros de los huracanes son: (1) vientos intensos, (2) tornados asociados, (3) lluvias intensas y (4) olas marinas. Alrededor del 90% de las fatalidades producidas por los huracanes son causadas por inundaciones de la costa y del interior. Tengamos en cuenta que la presión que ejerce el viento sobre una superficie aumenta desproporcionadamente con la intensidad del viento, en concreto, lo hace proporcionalmente al cuadrado de su velocidad. Por ejemplo, si el viento duplica su velocidad se cuadruplica la presión que ejerce sobre un muro o pared. Pero son los potentes pequeños torbellinos incluidos en los vientos de la circulación de los huracanes los que son responsables de los daños de mayor severidad. Esta combinación de diminutos vórtices y viento pueden producir vientos estimados de 320 km por hora. Los vientos huracanados se debilitan con rapidez al entrar en contacto con los continentes por pérdida del contacto con su fuente energética, el agua calentada del mar y por efecto de la mayor rugosidad del suelo que el mar. Los tornados que acompañan a los huracanes suelen desarrollarse también al entrar en contacto con la tierra y recurvar sus trayectorias hacia el norte y noreste introduciéndose en la corriente básica del oeste. Por esta razón, la mayoría de los tornados se presentan al noreste del centro de la tormenta y con frecuencia fuera de la región de vientos de fuerza huracanada. Los huracanes

también producen lluvias torrenciales. Aunque la tormenta penetre bien en tierra las lluvias intensas pueden persistir y producir avenidas e inundaciones bastante tiempo después de haberse extinguido los vientos, como ocurrió, por citar un caso, con el huracán Camille en agosto de 1969 en Virginia. La cantidad de agua descargada por los huracanes representa energía. La energía calórica liberada en la masa de nubes de un huracán es asombrosa; en algunos casos llega a superar los 1000 kilovatios-hora por día, cantidad que equivale aproximadamente a 1000 veces la energía eléctrica total generada en los Estados Unidos. Con estos datos no es difícil intuir los catastróficos efectos de estas tormentas sobre las tierras y poblaciones situadas en su camino. Con todo, sin embargo, el aspecto potencialmente más devastador de los huracanes, más que los vientos o las lluvias, es el impacto sobre las áreas costeras de las olas de mar que les acompañan conocidas como marejadas ciclónicas.

En las últimas décadas se ha dado un gran impulso a la predicción operativa de los ciclones tropicales consiguiéndose resultados realmente esperanzadores por medio de la combinación de modelos numéricos de alta resolución, de la mayor disponibilidad de observaciones sobre los océanos y debido a un mayor conocimiento de la dinámica de estas perturbaciones. Hoy día una predicción a 3 días es tan exacta como la que se hacía a 2 días a finales de los 80. Sin embargo, las mejoras en las predicciones de la intensidad de los huracanes son mucho más lentas que en sus trayectorias. Aún queda mucho por hacer para poder predecir los cambios de intensidad que experimentan las tormentas tropicales y los huracanes. Lo mismo ocurre con la predicción de las marejadas ciclónicas. El punto de entrada a tierra de un huracán es crucial para determinar las áreas que serán inundadas por la marejada.

La fase de la señal multidecadal atlántica es otro importante factor que ha contribuido precisamente al aumento de esta actividad desde 1995. Las estaciones de huracanes en el Atlántico muestran periodos prolongados que duran por lo general décadas con actividad por encima o por debajo de lo normal. El fenómeno ENSO parece influir también sobre esa actividad: El Niño actúa reduciendo la actividad y La Niña aumentándola. La probabilidad disminuye dependiendo de la anticipación y la intensidad con que se desarrolle un El Niño. Actualmente no es posible predecir con la suficiente fiabilidad el número e intensidad de huracanes que entran a tierra o si una localidad será impactada o no por un huracán en la próxima estación.

¿Qué actividad ciclónica se puede esperar debido al calentamiento global? Las estimaciones de los estudios realizados hasta la fecha señalan pequeños o ningún cambio sobre el número, intensidad máxima y media o el tamaño de los ciclones tropicales. Tengamos en cuenta que los cambios observados son pequeños comparados con la gran variabilidad natural de los huracanes. Se necesita conocer con mucha mayor profundidad, que la que hoy conocemos, la compleja interacción entre estas tormentas y el océano/atmósfera tropical. Por el momento, sólo podemos afirmar que es altamente improbable que el calentamiento global contribuya a un drástico cambio en el número e intensidad de huracanes, pues no se ha observado un aumento a largo plazo de éstos. En cambio, en lugar de tendencias es muy posible que estemos experimentando un régimen cuasicíclico multidecadal con alternancia de fases activas y en calma de huracanes mayores en el Atlántico en la escala de 25-40 años.