



Huracán Iván, 13 de septiembre de 2004. NASA/cortesía de nasaimages.org

Variabilidad de los huracanes en el Atlántico

Richard J. Murnane
Risk Prediction Initiative
Instituto de Ciencias Oceanográficas de Bermuda
St. George - Bermuda

En lo que se refiere a las catástrofes causadas por huracanes, las reaseguradoras suelen mostrar preferencia por modelos de riesgo basados en la suposición de que la actual actividad ciclónica tropical en toda la cuenca atlántica y las probabilidades de que estos huracanes lleguen a tierra, están por encima de la media histórica. Sin embargo, a diferencia de aquellos que opinan que nos encontramos en una época en la que la actividad ciclónica es relativamente elevada, la mayoría de previsiones para 2012 anunciaron una temporada bastante normal en la cuenca atlántica, con unas cifras cercanas a la media histórica tanto en número total de huracanes como en el porcentaje de estos que acaban tocando tierra. Para muchos, esta discrepancia de opiniones y la importancia de establecer el porcentaje "exacto" de huracanes que tocarán tierra puede plantear varios interrogantes como, por ejemplo, ¿qué se entiende por "actividad normal"?, ¿qué escala o escalas de tiempo se utilizan para definir los valores normales?, ¿qué factores conducen a una actividad normal o anormal? o ¿cambiará la definición de lo que se entiende por normal? Para responder a estas preguntas, es necesario entender las particularidades del registro histórico y cómo influye el clima en los huracanes. Las respuestas que se obtengan son relevantes tanto para el ámbito científico, como para nuestra sociedad y economía. Y, además, son de suma importancia para las personas que utilizan modelos de riesgo de catástrofes naturales. Por ejemplo, si el resto de variables se mantiene constante, las pérdidas obtenidas en los modelos en los que el porcentaje de huracanes que llegan a tierra es elevado, son superiores a las de los modelos basados en los valores climatológicos históricos.

En el presente documento, nuestra intención es responder brevemente a las preguntas anteriores. Para ello, nos centraremos en la cuenca atlántica y en el porcentaje de huracanes que han tocado tierra en los Estados Unidos por dos motivos: 1) porque de todas las regiones afectadas por ciclones tropicales, el Atlántico no solo ofrece los datos de mayor calidad, sino también el registro "completo" más extenso en el tiempo; y 2) debido al tamaño del mercado de seguros estadounidense y a su relevancia para el sector de los reaseguros. Entendiendo el concepto de "cuenca atlántica" en su sentido más amplio, incluyo el Golfo de México y el Caribe en las cifras del Atlántico.

Datos sobre huracanes

Las teorías que pretenden explicar una cuestión tan incierta como son los cambios que podría experimentar la actividad ciclónica en el tiempo son más fáciles de entender si se está familiarizado con la calidad de los datos disponibles sobre huracanes. Los registros de huracanes utilizados en los modelos de riesgo de catástrofes se basan fundamentalmente en las previsiones más fiables disponibles sobre los ciclones tropicales. Entre los parámetros contemplados en estas previsiones se encuentran la latitud y longitud del ciclón tropical, la presión central y la velocidad máxima sostenida del viento durante 1 minuto a 10 metros (expresada en nudos y redondeada al múltiplo de 5 más cercano). Todos los datos se actualizan cada 6 horas.

¿Qué se entiende por "actividad normal"? ¿qué escala o escalas de tiempo se utilizan para definir los valores normales? ¿qué factores conducen a una actividad normal o anormal? o ¿cambiará la definición de lo que se entiende por normal?



¿Hasta qué punto contribuirían las tormentas omitidas a esta tendencia creciente?

El registro de las previsiones más fiables (actualizadas a intervalos de 6 horas) relativas a los huracanes del Atlántico Norte, más conocido como HURDAT, se inició en 1851, aunque los datos HURDAT no se compilaron por primera vez [Hope and Neumann, 1968] hasta la década de los años 60 para que la NASA pudiera calcular el riesgo de sufrir vientos huracanados en las inmediaciones de Cabo Cañaveral. La base de datos HURDAT se utiliza para muchas más finalidades de las que se previeron en un primer momento, por eso, a día de hoy, aún se intentan reanalizar y mejorar estos datos [Landsea et al., 2004].

Sin embargo no es de extrañar que la calidad de los datos y la minuciosidad de las observaciones utilizadas para desarrollar HURDAT se resientan según nos remontamos en el tiempo. Son varios los factores que contribuyen a esta pérdida progresiva de calidad. Por ejemplo, antes de 1931 la velocidad del viento se registraba tan solo una vez al día (a las 12:00 GMT), y en-

tre 1931 y 1956 los datos pasaron a recogerse dos veces al día (a las 00:00 y a las 12:00 GMT). Antes de que comenzara la era de los satélites a mediados de los años 60, no se disponía de una visión global completa de la actividad de las tormentas, por lo que es fácil suponer que si estas se producían mar adentro, lo más probable es que no quedaran registradas. Los vuelos rutinarios de observación de ciclones tropicales en el Atlántico no comenzaron a realizarse hasta 1944. Antes de esa fecha, muchas tormentas se detectaban o registraban únicamente si llegaban a tierra o se cruzaban con algún barco. Puede encontrarse un breve resumen de estas previsiones en [Murnane, 2004].

Cómputo total de huracanes en la cuenca atlántica

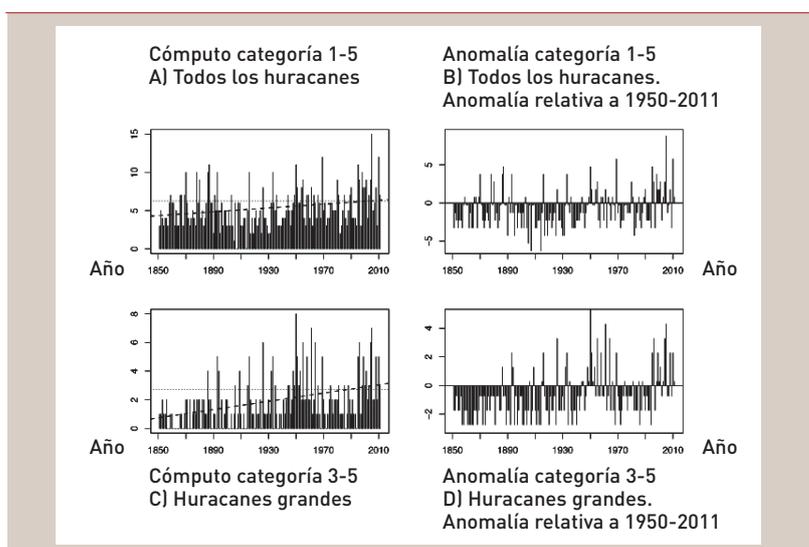
Siendo conscientes de cómo ha evolucionado la calidad de los datos recogidos con el tiempo,

es posible interpretar más adecuadamente el registro de la actividad ciclónica tropical en el Atlántico. Como se muestra en la Figura 1, el número de huracanes y huracanes grandes observados durante los primeros años del registro parece inferior a la media correspondiente al periodo entre 1950 y 2011. Por otro lado, parece existir una tendencia ascendente en el cómputo general de huracanes y huracanes grandes. Teniendo en cuenta los cambios experimentados por las tecnologías de observación que ya hemos comentado, parece razonable asumir que algunas tormentas no se incluyeron en los registros iniciales y que probablemente, la tendencia ascendente en el número de incidencias se deba, al menos en parte, a estas omisiones. Sin embargo, ¿hasta qué punto contribuirían a esta tendencia las tormentas omitidas?

Son muchos los estudios que pretenden analizar la tendencia al alza en el número de huracanes para determinar si dicho aumento es real, un artificio de los datos o una combinación de ambos. Un sencillo resumen de estos estudios sugiere la existencia de dos factores principales que deben tenerse en cuenta a la hora de analizar las tendencias y variabilidad del registro histórico. En primer lugar, el hecho de que en los primeros registros se pudieran haber omitido cuatro o incluso más tormentas al año por el mero hecho de que hubiera menos barcos y, por tanto, de que los avistamientos de tormentas fueran menos habituales en esa época [Vecchi and Knutson, 2008]. Y, en segundo lugar, que las tecnologías de observación actuales, vinculadas principalmente a los satélites, nos permiten identificar más eficazmente las tormentas más efímeras, con una duración de uno o dos días [Landsea et al., 2010]. Prácticamente todas estas tormentas de escasa duración suelen ser tormentas tropicales y en pocas ocasiones acaban convirtiéndose en huracanes grandes. Tras realizar algunas correcciones teniendo en cuenta estos factores (que también están acompañados de cierto grado de incertidumbre), las tendencias históricas que pueden contemplarse en la Figura 1 se suavizan considerablemente. Sin embargo, sigue existiendo la posibilidad de que una parte del aumento en el número de tormentas de escasa duración y/o en la tendencia histórica sea real. La evolución al alza en el cómputo total de huracanes y huracanes grandes es, sin duda, menor que la que se muestra

Figura 1: Progresión cronológica del cómputo anual de huracanes (categorías 1-5 en la escala Saffir-Simpson) y huracanes grandes (categorías 3-5 en la escala Saffir-Simpson) en la cuenca atlántica.

A) Todos los huracanes (la línea de puntos representa el cómputo medio para el periodo entre 1950 y 2011 y la línea discontinua, la tendencia lineal general de todo el registro). B) Anomalías anuales en el cómputo de huracanes en relación con el valor medio para 1950-2011. C) Huracanes grandes (la línea de puntos representa el cómputo medio para el periodo entre 1950 y 2011 y la línea discontinua, la tendencia lineal general de todo el registro). D) Anomalías anuales en el cómputo de huracanes grandes en relación con el valor medio para 1950-2011. Como se explica más detalladamente en este artículo, se cree que la tendencia lineal que puede verse en A y C se debe, exclusiva o parcialmente, a los cambios introducidos en la tecnología de observación y a la omisión de numerosas tormentas en el periodo registrado.



en la Figura 1. Por desgracia, la incertidumbre de los datos hace que sea imposible establecer con precisión cuál es la tendencia histórica que define la actividad ciclónica en la cuenca atlántica. Sin embargo, como se detallará más adelante, la fiabilidad de los datos relativos a la variabilidad aumenta al utilizar escalas de tiempo interanuales y decenales.

Actividad climática y ciclónica

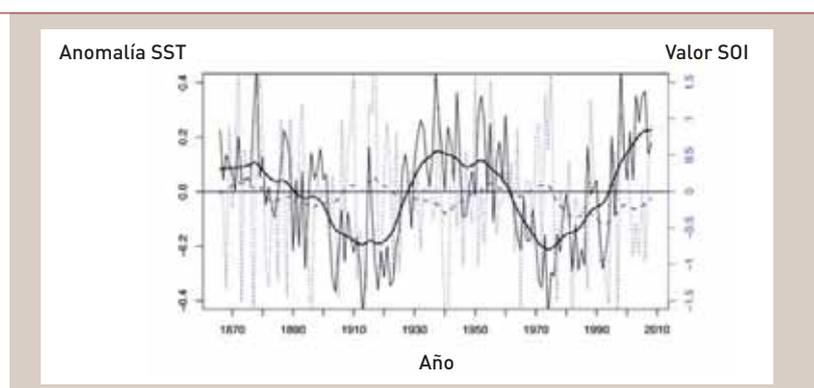
Entre los numerosos factores que influyen en la actividad ciclónica en el Atlántico, quizá los dos más importantes sean la oscilación multidecadal del Atlántico (AMO¹) y El Niño/Oscilación del Sur (ENSO²). La AMO consiste en una variación, de escala decenal, en la temperatura de la superficie del mar (SST³) en

¹ AMO: *Atlantic Multidecadal Oscillation*

² ENSO: *El Niño Southern Oscillation*

³ SST: *Sea Surface Temperature*

Figura 2: Progresión cronológica del índice SOI (en azul) y de las anomalías relativas a la SST en el Atlántico Norte una vez eliminada cualquier tendencia existente (en negro). Las líneas más gruesas, una continua y otra discontinua, se obtienen al aplicar un filtro de *Butterworth* de 10 años a las medias anuales entre junio y noviembre. Se ha eliminado cualquier tendencia existente en las anomalías no filtradas relativas a la SST (la línea negra más fina) realizando un ajuste lineal por mínimos cuadrados a los valores medios mensuales de la SST entre junio y noviembre. Los valores no filtrados relativos al SOI (la línea azul discontinua más fina) también se corresponden a los valores medios obtenidos entre junio y noviembre.



el Atlántico Norte. El sistema ENSO designa una oscilación de naturaleza combinada, tanto oceánica como atmosférica, con una periodicidad de entre unos tres a siete años. El componente oceánico (El Niño) se caracteriza por fluctuaciones en la SST del Océano Pacífico ecuatorial y el componente atmosférico (la Oscilación del Sur) viene definido por diferencias en la presión atmosférica a nivel del mar entre la isla de Tahití y la ciudad de Darwin (Australia). Pueden utilizarse varios métodos para calcular la AMO y el Índice de Oscilación del Sur (SOI)^{4,5}, pero, en términos generales, ninguna diferencia que pueda afectar a la metodología tendrá gran impacto en lo que discutiremos a continuación.

El SOI depende de la presión atmosférica, por lo que no es de extrañar que varíe en función de una escala de tiempo más corta que la oscilación AMO, que depende de la SST (Figura 2). Puede utilizarse un filtro de diez años para poner de relieve la variabilidad histórica relativa al índice SOI y a las anomalías en la SST. En el ENSO, el SOI representa el componente atmosférico de un patrón combinado formado por la variabilidad atmosférica y la del Océano Pacífico ecuatorial. Los valores SOI positivos se asocian con La Niña y los valores SOI negativos, con El Niño. El sistema ENSO tiene repercusiones a nivel global y, por tanto, los cambios experimentados en el Pacífico pueden influir en la actividad ciclónica del Atlántico. La cizalladura⁶ del viento en el Atlántico tropical suele ser superior con El Niño que con La Niña. Dado que la génesis y la intensificación de los ciclones tropicales se ven favorecidas por entornos con una cizalladura del viento baja, cabría esperar una mayor actividad ciclónica durante los periodos de La Niña y una disminución de la misma durante los periodos de El Niño (Figura 3).

La relación existente entre la AMO y la actividad ciclónica en el Atlántico puede verse claramente si tenemos en cuenta la teoría de la máxima intensidad potencial de un ciclón tropical. Un fundamento teórico clave es que cuanto mayor sea el gradiente de temperatura entre la superficie marítima y la parte superior de la troposfera, más energía tendrá un ciclón tropical a su disposición (asumiendo que las SST fueran lo suficientemente cálidas,



Richard J. Murnane © Alberto Carrasco

es decir, de unos 26°C). Aunque la SST es un marcador muy práctico, el contenido en calor del océano por debajo del ciclón tropical permite cuantificar de forma más precisa la cantidad de energía de la que puede disponer un ciclón tropical. Las aguas más cálidas con termoclinas a mayor profundidad tienen mayor contenido calórico que las aguas más frías con termoclinas superficiales y, por tanto, pueden suministrar más energía a un ciclón tropical. Por todo ello, cabría esperar que la existencia de SST más altas y una AMO positiva estuvieran directamente relacionadas con una mayor actividad ciclónica. La relación existente entre la AMO (que depende de las SST en el Atlántico Norte) y la actividad ciclónica (que depende de la aparición de anomalías respecto a la media histórica) no es exacta, pero suele cumplirse la pauta de que durante las fases en las que la AMO es positiva, los huracanes son más intensos, y los huracanes grandes son más frecuentes (Figura 3). Se ha originado un debate en la comunidad científica en torno a si la AMO, como el sistema ENSO, sigue un patrón de variabilidad natural o si, por el contrario, es el resultado de las emisiones antropogénicas de aerosoles y del calentamiento a gran escala.

Huracanes que tocan tierra

Aunque las estadísticas relativas a la cuenca atlántica son útiles en términos científicos, puesto que es la zona con el mayor número de ciclones tropicales, las compañías (re)aseguradoras están más interesadas en las probabilidades de que estos fenómenos toquen tierra y, más concretamente, en la probabilidad de que lo hagan los huracanes grandes. Los problemas de completitud de los datos a causa de la escasez y falta de observaciones que ya hemos comentado, no son tan graves cuando nos referimos al número de huracanes que han tocado tierra. De hecho, los datos correspondientes al cómputo total de huracanes que han tocado tierra en los Estados Unidos después de 1900 se consideran bastante fiables. Sin embargo, el actual esfuerzo de reanálisis de la base de datos HURDAT ha alterado el cómputo de huracanes que tocaron tierra en ciertos años, así como la intensidad en tierra de una cantidad considerable

Figura 3: Progresión cronológica de la AMO (línea negra continua), definida en función de las anomalías de la SST en el Atlántico, y del SOI (línea negra discontinua), expresados ambos a través de los valores medios mensuales registrados durante el periodo comprendido entre junio y noviembre, así como del cómputo anual de huracanes (línea azul continua) y huracanes grandes (línea azul discontinua) registrados en la cuenca atlántica. Los cómputos anuales son los mismos que aparecen en la Figura 1. Las líneas se obtienen al aplicar un filtro de Butterworth de 10 años a las medias anuales entre junio y noviembre.

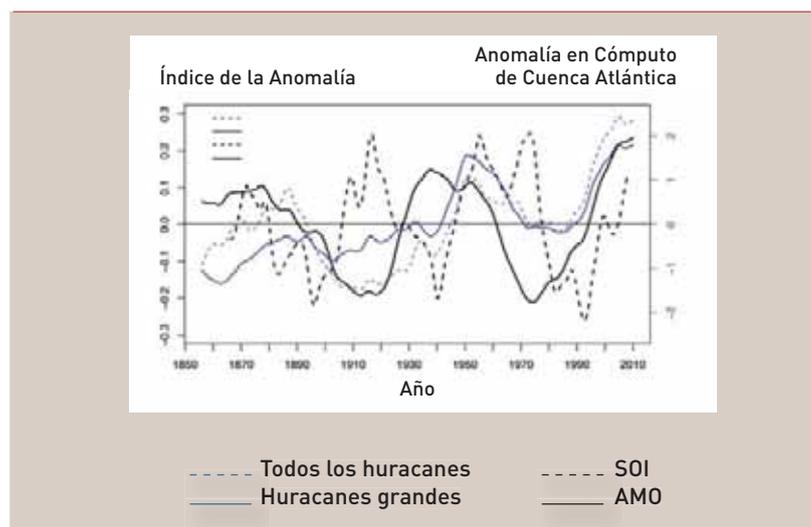
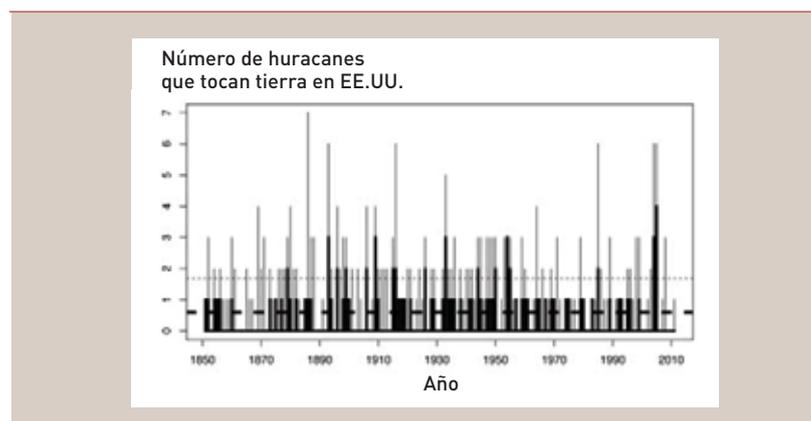


Figura 4: Cómputo anual de todos los huracanes (barras finas) y huracanes grandes (barras gruesas) que tocaron tierra en los Estados Unidos. La línea discontinua horizontal más fina representa el cómputo medio de huracanes durante el periodo comprendido entre 1851 y 2011. La línea discontinua horizontal más gruesa representa el cómputo medio de huracanes grandes.

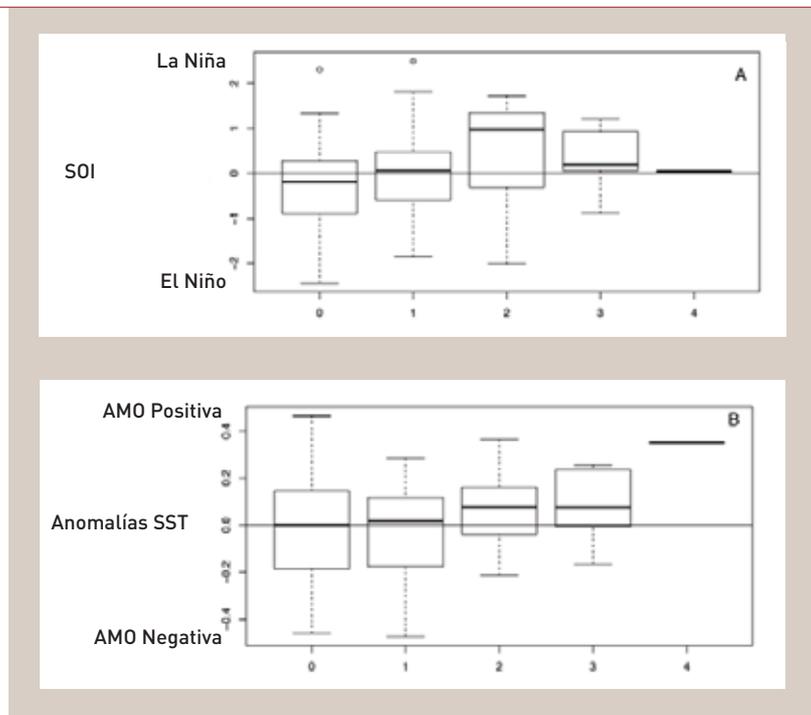


⁴ La información relativa a la SST utilizada en el presente artículo se ha obtenido de la base de datos "Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) version 2" de la NOAA (la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los EE.UU.) y se ha interpolado a una matriz de 5x5. Esta información está disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/amon.us.long.mean.data>. Para el índice de Oscilación del Sur (SOI), se han utilizado datos obtenidos por la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia, que pueden consultarse en: "http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/soi/".

⁵ SOI: Southern Oscillation Index

⁶ Cizalladura del viento o wind shear en inglés, es la diferencia en la velocidad del viento o su dirección entre dos puntos en la atmósfera terrestre.

Figura 5: Diagramas de cajas en los que se representa el cómputo anual de huracanes mayores que tocaron tierra en función de las anomalías en el SOI (A) y en la SST (B). La línea negra más gruesa representa el valor medio; los extremos inferiores y superiores de cada una de las cajas representa el rango intercuartílico y los bigotes marcan los valores extremos.



El actual esfuerzo de reanálisis de la base de datos HURDAT ha alterado el cómputo de huracanes que tocaron tierra en ciertos años, así como la intensidad en tierra de una cantidad considerable de eventos

de eventos. Teniendo presentes estas salvedades, puede considerarse que el recuento anual de huracanes y huracanes grandes que llegaron a tierra (Figura 4) es bastante fiable. En este sentido, resulta evidente que si bien hay cierta variabilidad, no existe una tendencia histórica en el número de huracanes que tocan tierra cada año.

Por otro lado, tanto las SST relativamente cálidas como los valores SOI positivos son factores que están directamente relacionados con un mayor número de ciclones tropicales en la cuenca. Por tanto, sería razonable deducir que existe una correlación similar entre estos mismos factores y el número de huracanes que tocan tierra en los Estados Unidos. En un primer momento, esta deducción parece correcta (Figura 5), pero la correlación existente entre el SOI y la AMO, por un lado, y los huracanes grandes que tocan tierra, por otro, proporciona escasa información sobre la actividad estacional en años concretos. Hodges y Elsner [2010]

demuestran que la relación entre el número de huracanes grandes que entran en tierra y el SOI es más estrecha que la que existe con la AMO. Asimismo, también resaltan la importancia de otros dos factores que se encuentran fuera del ámbito de estudio de este artículo, pero que -aún así- deben mencionarse: la oscilación del Atlántico Norte (NAO⁷) y las manchas solares. El hecho de que la NAO presente valores negativos y que el número de manchas solares sea elevado son factores que se vinculan a un mayor número de huracanes que tocan tierra en los Estados Unidos.

¿Qué se entiende por “normal”?

Esta reflexión sobre la calidad de los datos registrados y los factores que influyen en la actividad ciclónica evidencia que la definición de lo que se entiende por “condiciones normales” no es tarea fácil. La forma más sencila

⁷ NAO: North Atlantic Oscillation



Huracán Epsilon, 3 de diciembre de 2005. NASA/cortesía de nasaimages.org

lla de definir qué son “condiciones normales” podría ser el valor promedio a lo largo de un periodo de tiempo lo suficientemente largo como para obtener muestras de la variabilidad en escalas de tiempo que resulten de interés. Normalmente, cuanto más información se tenga, mejor. Pero, debemos tener presente que esta debe reinterpretarse teniendo en cuenta la calidad de los datos de los que se dispone. Para los huracanes que han tocado tierra en los Estados Unidos, el periodo utilizado para definir la normalidad debería ser lo suficientemente largo como para poder tomar muestras pertinentes de la variabilidad en varios decenios. Por desgracia, los datos relativos al número de huracanes que han tocado tierra son demasiado limitados para determinar si existe una variabilidad significativa de un siglo a otro. Sin embargo, los estudios sobre la variabilidad ciclónica basados en variables sustitutivas de carácter geológico, como depósitos procedentes de intrusiones marinas en marismas y huellas isotópicas en

depósitos cavernarios, sugieren la existencia de una variabilidad significativa de un milenio a otro. Afortunadamente, las escalas milenarias tienen escasa relevancia para las (re) aseguradoras, por lo que puede omitirse esta complejidad adicional de los modelos de catástrofes por huracanes. Teniendo en cuenta todo lo que se sabe de los huracanes que tocan tierra en los Estados Unidos, resulta un tanto irónico que incluso aunque fuera posible conocer el estado exacto de las oscilaciones AMO, ENSO y NAO, y de las manchas solares durante la próxima temporada, las previsiones estacionales sobre el número de huracanes que fueran a tocar tierra en los Estados Unidos seguirían siendo imprecisas debido a la aleatoriedad oceánica y atmosférica.

¿Cómo afecta todo lo anterior a la perspectiva a medio plazo que se utiliza en los modelos de catástrofes por huracanes? Tal y como muestra la Figura 2, estamos viviendo un periodo en el que las anomalías en la SST son

Resulta un tanto irónico que incluso aunque fuera posible conocer el estado exacto de las oscilaciones AMO, ENSO y NAO, y de las manchas solares durante la próxima temporada, las previsiones estacionales sobre el número de huracanes que fueran a tocar tierra en los Estados Unidos seguirían siendo imprecisas debido a la aleatoriedad oceánica y atmosférica

La mayoría de estudios que reflexionan sobre cómo van a responder los ciclones tropicales ante el calentamiento antropogénico sugiere que se producirá un pequeño aumento en términos de intensidad y precipitación y que se reducirá ligeramente su frecuencia

positivas y, por tanto, sería razonable esperar que la probabilidad de que hubiese huracanes que tocasen tierra fuese superior a la media histórica. Sin embargo, los valores de la SST en el Atlántico no son el único factor determinante. La influencia de ENSO/SOI, la oscilación NOA y las manchas solares también deben tenerse en cuenta. Por ejemplo, cabría esperar que en los años en los que El Niño fuese muy intenso, el número de huracanes que tocasen tierra fuese inferior al de los años de La Niña. Dado el gran abanico de posibilidades, los usuarios de modelos de catástrofes harían bien en gestionar sus actividades de tal forma que puedan soportar una cierta variabilidad en las estimaciones de huracanes que tocan tierra.

Observaciones finales

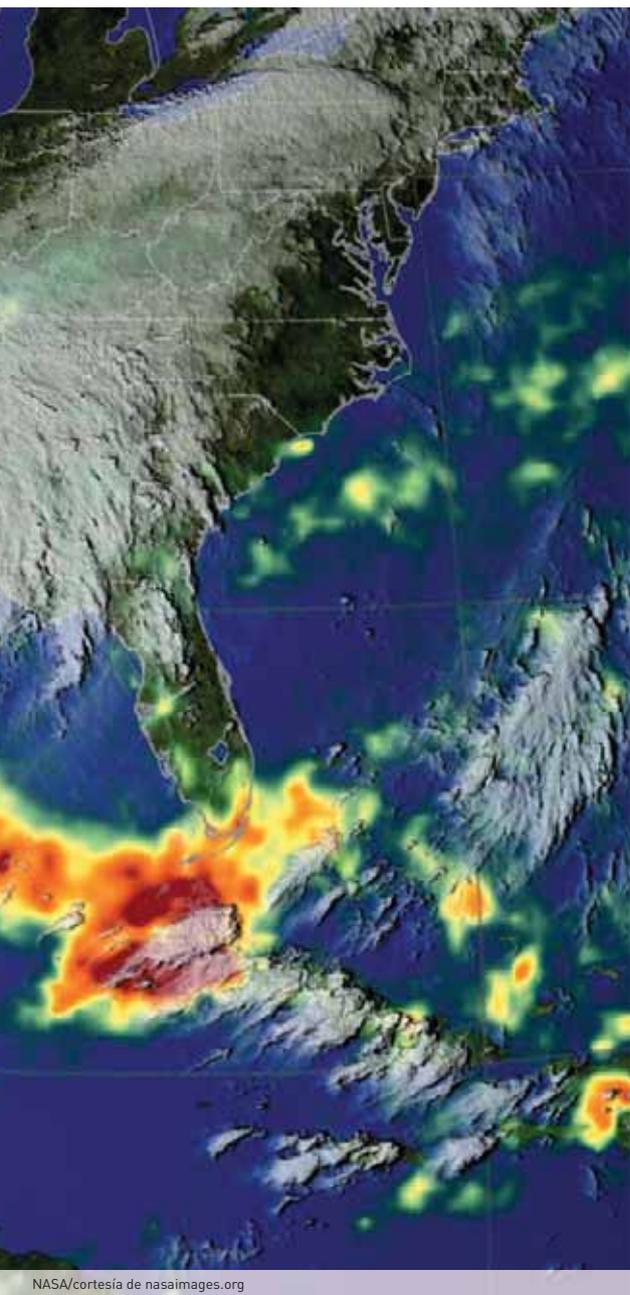
En el futuro, es probable que el cambio climático antropogénico altere muchas características oceánicas y atmosféricas. Por ejemplo, es probable que la SST del Océano Atlántico aumente. Sin embargo, la reacción de la oscilación ENSO es más difícil de predecir. En la actualidad, la mayoría de estudios que reflexionan sobre cómo van a responder los ciclones tropicales ante el calentamiento antropogénico sugiere que se producirá un pequeño aumento en términos de intensidad y precipitación y que se reducirá ligeramente su frecuencia. De hecho, ya hay indicios de que las tormentas de mayor intensidad tienen cada vez más potencia [Elsner et al., 2008].

Aunque el presente artículo se centra en la actividad ciclónica en el Atlántico, parece razonable realizar algunos comentarios generales sobre la actividad ciclónica tropical, tanto actual como futura, en otras regiones. En primer lugar, las limitaciones de los datos en otras zonas son aún mayores que en el Atlántico. Afortunadamente, el arsenal cada vez mayor de datos procedentes de satélites palió las carencias de las mediciones aéreas *in situ* fuera de la zona atlántica. No obstante, las mediciones *in situ* de los ciclones tropicales en otras cuencas serían realmente útiles. En segundo lugar, la influencia de la SST y de las oscilaciones ENSO y NAO también es importante en otras cuencas, aunque es po-



Acumulación de lluvia provocada por el huracán Katrina entre el 23 y el 29 de agosto de 2005

sible que su impacto sea de signo opuesto al que tiene en el Atlántico. Por último, la mayoría de estudios de modelos sobre el futuro climático concluye, con cierta seguridad, un aumento de la intensidad y la precipitación de los ciclones tropicales. En cambio, las previsiones sobre los posibles cambios que podrían experimentar otros factores, como la frecuencia y la trayectoria de los ciclones tropicales, son muy poco fiables. Pronosticar con certeza los cambios que podrían sufrir los ciclones tropicales en el futuro es real-



NASA/cortesía de nasaimages.org

mente complicado por varios motivos, entre ellos: 1) que la limitada concreción de los modelos climáticos hace que resulte difícil realizar previsiones realistas sobre los ciclones tropicales (aunque esto se está convirtiendo en un problema menor), 2) que, a menudo, las simplificaciones de los modelos no logran simular de forma realista las condiciones atmosféricas y oceánicas en escalas que sean relevantes para poder predecir el comportamiento de los ciclones tropicales, y 3) que es imposible conocer cuál será el nivel

de emisiones de gases de efecto invernadero en el futuro. Además, las mareas de tormenta tropical son un peligro adicional que, generalmente, no suele tenerse en cuenta en los estudios que analizan los cambios que podría experimentar la actividad de los ciclones tropicales en el futuro. Sin embargo, independientemente de estos cambios, la amenaza que constituyen estas será cada vez mayor conforme se eleve el nivel del mar a causa de la expansión térmica del océano y de la fusión del hielo continental.

Independientemente de estos cambios, la amenaza que constituyen las marejadas ciclónicas será cada vez mayor conforme se eleve el nivel del mar a causa de la expansión térmica del océano y el derretimiento del hielo continental

Referencias

Murnane, R. J. (2004), *The importance of best-track data for understanding the past, present, and future of hurricanes and typhoons*, in *Hurricanes and Typhoons: Past, Present, and Future*, edited by Murnane, R. J., and K.-b. Liu, pp. 249-266, Columbia University Press, New York.

Hope, J. R., and C. J. Neumann (1968), *Probability of tropical cyclone induced winds at Cape Kennedy*, Weather Bureau Technical Memorandum SOS-1, NOAA, Silver Spring, MD.

Landsea, C. W., C. Anderson, N. Charles, G. Clark, J. Dunion, J. Partagas, P. Hungerford, C. Neumann, and M. Zimmer (2004), *The Atlantic hurricane database re-analysis project: Documentation for 1851-1910 alterations and additions to the HURDAT database*, in *Hurricanes and Typhoons: Past, Present, and Future*, edited by Murnane, R. J., and K.-B. Liu, pp. 177-221, Columbia University Press, New York.

Vecchi, G. A., and T. R. Knutson (2008), *On estimates of historical North Atlantic tropical cyclone activity*, *J. Climate*, 21, 3580-3600, doi:10.1175/2008JCLI2178.1.

Landsea, C. W., G. A. Vecchi, L. Bengtsson, and T. R. Knutson (2010), *Impact of duration thresholds on Atlantic tropical cyclone counts*, *J. Climate*, 23, 2508-2519, doi:10.1175/2009JCLI3034.1.

Hodges, R. E., and J. B. Elsner (2010), *Evidence linking solar variability with US hurricanes*, *International J. Climatol.*, doi:10.1002/joc.2196. Elsner, J. B., J. P. Kossin, and T. H. Jagger (2008), *The increasing intensity of the strongest tropical cyclones*, *Nature*, 455(4), 92-95.