

ANEGADO: En 1861, una tormenta de 43 días desatada por un río atmosférico convirtió el Valle Central californiano en un mar interior, recreado aquí sobre un mapa actual.

METEOROLOGÍA

LAS PRÓXIMAS MEGAINUNDACIONES

Enormes corrientes de vapor en la atmósfera, conocidas como ríos atmosféricos, han desencadenado inundaciones extremas cada 200 años. El cambio climático podría incrementar su frecuencia

Michael D. Dettinger y B. Lynn Ingram



Michael D. Dettinger es hidrogeólogo del Servicio de Inspección Geológica de EE.UU. e investigador de la División sobre el Clima, Ciencias Atmosféricas y Oceanografía Física del Instituto Scripps de Oceanografía en La Jolla, California.



B. Lynn Ingram es profesora de ciencias geológicas y planetarias en la Universidad de California en Berkeley. Es coautora del libro *The West without water* (University of California Press, primavera de 2013).



EN LA NOCHEBUENA DE 1861, UNAS INTENSAS TORMENTAS PROCEDENTES DEL OCÉANO PACÍFICO comenzaron a azotar el centro de California y persistieron casi sin descanso durante 43 días. Pronto el diluvio transformó los ríos de la vertiente este de Sierra Nevada en furiosos torrentes que arrasaron comunidades enteras y poblaciones mineras. Las aguas de ríos y lluvias convirtieron el vasto Valle Central californiano en un mar interior de unos 500 kilómetros de longitud y 30 kilómetros de anchura. Millares de personas perdieron la vida y una cuarta parte de las 800.000 cabezas de ganado del estado murieron ahogadas. El centro de la ciudad de Sacramento quedó anegado bajo tres metros de aguas marrones cargadas de derrubios procedentes de los innumerables deslizamientos que se habían producido en las pronunciadas laderas de la región. El Gobierno de California, paralizado, se trasladó a San Francisco hasta que Sacramento consiguió secarse, seis meses más tarde. Para entonces, el estado se había declarado en bancarota.

Si hoy se produjera un evento similar, las consecuencias resultarían mucho más devastadoras. En el Valle Central residen más de seis millones de personas, de las que 1,4 millones viven en Sacramento. La tierra genera allí unos 20.000 millones de dólares al año en cosechas, con un 70 por ciento de la producción mundial de almendras; algunas áreas han experimentado una subsidencia de 9 metros como consecuencia del bombeo indiscriminado de agua subterránea, lo que las hace más vulnerables a las inundaciones. Una investigación reciente que ha simulado por ordenador una tormenta de intensidad análoga y de tan solo 23 días de duración ha concluido que el evento acarrearía unos daños materiales y unas pérdidas agrícolas que alcanzarían los 400.000 millones de dólares. Miles de personas fallecerían a menos que las medidas de preparación y los planes de evacuación funcionaran de forma efectiva.

¿Constituyó la inundación de 1861-62 un suceso extraordinario? En apariencia, no. El estudio de los depósitos sedimentarios en diversas ubicaciones demuestra que los episodios de tales dimensiones han anegado California con una recurrencia de dos siglos, al menos durante los dos últimos milenios. Las tormentas

de 1861-62 también afectaron al intervalo de costa que abarca desde el norte de México y el sur de California hasta Columbia Británica, donde desencadenaron las peores inundaciones que se han registrado hasta la fecha. En la actualidad, los climatólogos postulan que aquellos eventos, así como otros similares que han tenido lugar en diversas regiones del planeta, fueron consecuencia de los ríos atmosféricos, un fenómeno del que pocos lectores habrán oído hablar. Y estiman que a California, al menos, le está llegando el turno de nuevo.

DIEZ RÍOS MISSISSIPPI EN LA ATMÓSFERA

Los ríos atmosféricos consisten en largas corrientes de vapor de agua que se originan a unos 1,6 kilómetros de altura en la atmósfera. Miden tan solo 400 kilómetros de ancho, pero recorren miles de kilómetros de distancia; en ocasiones cruzan toda una cuenca oceánica, como el Pacífico. Semejantes cintas transportadoras de vapor llevan una cantidad de agua equivalente a entre 10 y 15 ríos Mississippi desde los trópicos hasta las latitudes medias. Cuando un río atmosférico alcanza la costa oeste de Estados Unidos y colisiona contra las cadenas

EN SÍNTESIS

Los registros geológicos demuestran que cada 200 años se han producido en California inundaciones extremas, causadas únicamente por lluvias. La última aconteció en 1861 y dejó el estado en bancarota.

Todo apunta a que aquellos episodios respondieron a la acción de ríos atmosféricos, unas estrechas bandas de vapor de agua situadas a 1,6 kilómetros de la superficie oceánica que recorren miles de kilómetros. Esos ríos, en una forma mucho más atenuada, alcanzan con regularidad el estado de California y las costas occidentales de otros países.

Un grupo de científicos que ha realizado la simulación de una megatormenta en la California actual, semejante a la de 1861 pero menos duradera, estima que el episodio podría suponer la evacuación de más de un millón de personas y unas pérdidas económicas de 400.000 millones de dólares.

Los expertos están mejorando la capacidad de predecir la llegada de ríos atmosféricos, lo que permitirá alertar sobre inundaciones causadas por tormentas normales y posibles catástrofes desatadas por una megatormenta.

montañosas interiores, como Sierra Nevada, se ve obligado a ascender y, al enfriarse, se condensa y da lugar a ingentes cantidades de lluvia.

Los habitantes de la costa oeste de América del Norte llevan mucho tiempo familiarizados con las tormentas llamadas *pineapple express*, que proceden de latitudes tropicales, cerca de Hawái, y descargan intensas lluvias y nevadas durante un período de tres a cinco días. Se piensa que tales episodios corresponden a un tipo de río atmosférico. De acuerdo con las últimas investigaciones, nueve ríos de vapor azotan cada año el estado de California. Entre ellos, solo unos pocos alcanzan la magnitud suficiente para causar verdaderas megainundaciones. Con todo, la intensidad de las tormentas «normales» es equiparable a la de las lluvias torrenciales que se producen en el resto del país, por lo que suponen igualmente un desafío para las brigadas de emergencia, los servicios de previsión de inundaciones y los departamentos de gestión hidrológica.

Los ríos atmosféricos causan también lluvias en las costas occidentales de otros continentes y, en ocasiones, pueden desarrollarse en lugares poco habituales. Así, la inundación catastrófica que azotó Nashville y sus alrededores en mayo de 2010 —que causó la muerte a 30 personas y más de 2000 millones de dólares en daños— fue nutrida por un río atmosférico extraordinario, procedente del golfo de México, que causó intensas lluvias ininterrumpidas durante dos días en Tennessee. En 2009, se produjeron inundaciones masivas en el sur de Inglaterra y algunas regiones de España como consecuencia de los ríos atmosféricos. Sin embargo, conocemos mejor la dinámica del fenómeno a lo largo de la costa pacífica. Por otro lado, los estudios más recientes revelan que los ríos de vapor podrían magnificarse en un futuro a medida que el clima se calienta.

UN DESCUBRIMIENTO INESPERADO

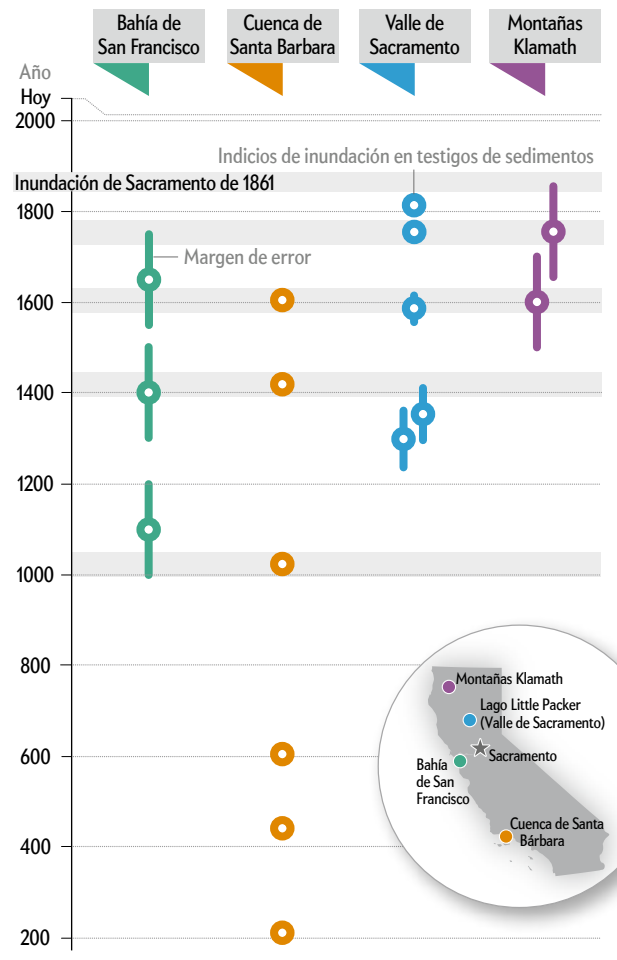
A pesar de su enorme poder de destrucción, los ríos atmosféricos no se descubrieron hasta hace poco y, en parte, por casualidad.

En enero de 1998, el Laboratorio de Tecnología Ambiental de la Administración Nacional de la Atmósfera y el Océano estadounidense (NOAA) inició un proyecto denominado CALJET con el objetivo de mejorar la predicción de tormentas intensas en la costa californiana. El meteorólogo del laboratorio Marty Ralph y otros científicos sobrevolaron el Pacífico Norte a bordo de un avión especialmente equipado y se adentraron en una tormenta invernal para determinar sus condiciones internas. La tormenta fue descrita como un «chorro», una zona de fuertes vientos. Los investigadores calcularon que aquel único evento, que perseveró durante días, transportaba el 20 por ciento de toda la humedad atmosférica transferida desde las latitudes medias hacia el Polo Norte. El chorro se concentraba a unos 1,6 kilómetros de la superficie oceánica, una altura excesiva para localizarlo mediante las observaciones meteorológicas tradicionales realizadas desde la superficie terrestre.

También en 1998, los investigadores Yong Zhu y el fallecido Geinald Newell, por entonces en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, repararon en una peculiaridad que aparecía en unas simulaciones de la circulación global del viento y el vapor de agua realizadas por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo. Hallaron que, fuera de los trópicos, un 95 por ciento del transporte total de vapor hacia los polos tenía lugar en cinco o seis bandas estrechas; distribuidas más o menos aleatoriamente por el planeta, se desplazaban de oeste a este a través de las latitudes medias. El término «ríos atmosféricos» se acuñó para describir dichas bandas.

Megainundaciones en California cada 200 años

California ha sido azotada por inundaciones masivas cada 200 años aproximadamente, según indican los análisis de los sedimentos depositados por los torrentes en cuatro ubicaciones muy distantes entre sí. Las diferentes técnicas de datación aplicadas a los depósitos presentan distintos márgenes de error, pero los valores medios concuerdan bastante. Si se cumple la recurrencia, el estado podría estar a punto de sufrir una nueva catástrofe; la última megainundación tuvo lugar en 1861 y anegó la ciudad de Sacramento durante seis meses (fotografía).



Casi al mismo tiempo, los satélites dotados del nuevo sensor especial de imágenes por microondas permitan por primera vez obtener una visión clara y completa de la distribución mundial del vapor de agua. Las imágenes reflejaban que este tendía a concentrarse en largos y estrechos corredores que se extendían desde el aire cálido y húmedo de los trópicos hasta las regiones más secas y frías alejadas de las latitudes tropicales. Los tentáculos aparecían y se desvanecían en intervalos de tiempo que abarcaban entre unos días y un par de semanas.

Como cabía esperar, no se tardó en poner en conjunto aquellos tres descubrimientos que se complementaban de una forma tan llamativa. Desde entonces, se ha llevado a cabo un número creciente de investigaciones con el objetivo de caracterizar con detalle los ríos atmosféricos de la costa oeste estadounidense. A fin de monitorizarlos, se han construido nuevos observatorios dotados de radares ascendentes y perfiladores de vientos. El programa del Banco de Pruebas de Hidrometeorología de la NOAA se ocupa de observar la región continental para dilucidar lo que ocurre cuando un río atmosférico se adentra en ella.

A partir de los datos recogidos por dichos sistemas de observación, los expertos han mejorado su capacidad para reconocer ríos atmosféricos en las simulaciones meteorológicas y pronosticar su llegada a la costa occidental. En los últimos años se han podido identificar algunas tormentas con más de una semana de antelación. También se está descubriendo la presencia de ríos atmosféricos en los modelos utilizados para prever cambios climáticos futuros. Los meteorólogos, que cuentan ahora con mayores habilidades predictivas, están comenzando a alertar a la población de lluvias extremadamente intensas con mucha más antelación. Dicha mejora permite a los gestores de emergencias disponer de más tiempo para prepararse [véase «Huracán a la vista», por J. Lubchenco y J. L. Hayes; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, julio de 2012].

¿UNA MEGAINUNDACIÓN CADA SIGLO?

A pesar de que hoy poseemos un mayor conocimiento científico, las inundaciones de 1861-62 han caído en el olvido. A lo largo del siglo pasado, las comunidades, la industria y las operaciones agrícolas en California y el oeste de Estados Unidos se han expandido sobre las mismas llanuras que quedaron sumergidas hace 150 años. Los habitantes de la región se muestran confiados y no son conscientes del evidente riesgo al que se encuentran sometidas sus vidas y propiedades. Mientras tanto, entre los climatólogos reina el desasosiego y la preocupación ante la acumulación de datos que apuntan hacia una nueva megatormenta que podría acontecer en un futuro próximo.

Dicha inquietud surge de una investigación que intenta recopilar indicios que revelen la ocurrencia y la frecuencia de inundaciones en los últimos 2000 años. Se trata de un trabajo detectivesco que consiste en recomponer unos hechos que tuvieron lugar hace mucho tiempo. Los científicos identifican las pruebas que han quedado atrapadas en lechos lacustres, llanuras de inundación, marismas y cuencas submarinas. Las aguas descienden por las laderas y surcan el terreno y, al hacerlo, erosionan las colinas, movilizan arcilla, limo y arena y transportan todo ese material en grandes riadas. Cuando los ríos alcanzan una llanura, marisma, estuario o el océano, sus aguas pierden velocidad y se deposita su carga de sedimentos: primero lo hace la grava gruesa, a continuación la arena y finalmente los limos y las arcillas. La naturaleza remodela tales depósitos y con el tiempo quedan enterrados bajo nuevos sedimentos que se forman en condiciones meteorológicas normales. Los exper-

tos extraen testigos verticales de dichos sedimentos y, una vez en el laboratorio, analizan los estratos preservados y datan los acontecimientos que se produjeron en cada momento.

De ese modo, se han encontrado depósitos de inundación bajo marismas intermareales en las proximidades de la bahía de San Francisco, en el norte de California. Las aguas fluviales que llegan a las marismas suelen descargar solo una parte muy reducida de los materiales más finos, es decir, arcillas y limos. Las corrientes más vigorosas, durante episodios de inundación intensos, transportan partículas de mayor tamaño y dan lugar a capas de sedimento de mayor espesor y grano más grueso. Los estratos correspondientes a una inundación pueden datarse mediante radiocarbono, una técnica corriente que en esta aplicación ofrece una precisión de unos 100 años. Un estudio de los testigos de marismas realizado por uno de los autores (Ingram) y la geógrafa Frances Malamud-Roam reveló depósitos de inundaciones masivas correspondientes, aproximadamente, a los años 1100, 1400 y 1650. Sin embargo, no es fácil localizar un estrato distintivo que se correlacione con el evento de 1861-62. Durante las décadas anterior y posterior a la inundación, la explotación hidráulica del oro en las faldas de Sierra Nevada movilizó un enorme volumen de limo y arcilla, lo que prácticamente borró cualquier huella que los torrentes hubieran podido dejar.

Los testigos de sedimentos recuperados del fondo de la propia bahía de San Francisco también indican que hacia 1400 la bahía se rellenó de agua dulce (como ocurrió durante el evento de 1861-62), una prueba más de que se produjo una inundación masiva.

Los geólogos han hallado otros indicios en el sur de California. En esta área, a lo largo de la costa de Santa Bárbara, residen dos tercios de los casi 38 millones de habitantes del estado. Cada primavera se deposita en el fondo oceánico de la región una capa de sedimentos de color claro constituida por algas diatomeas, mientras que en invierno se forma una capa oscura de limo. Debido a la deficiencia de oxígeno en las aguas profundas, las condiciones resultan inhóspitas para los organismos bentónicos que remueven y excavan el suelo, por lo que las capas anuales de sedimentos se han preservado de forma excepcional a lo largo de miles de años. Los testigos obtenidos del fondo revelan la ocurrencia de seis megainundaciones. En ellos se distinguen estratos gruesos de limo gris cuya datación corresponde a los años 212, 440, 603, 1029, 1418 y 1605. Los tres últimos años se correlacionan bien con los deducidos a partir de los depósitos de marisma cerca de la bahía de San Francisco (1100, 1400 y 1650), lo que confirma que han tenido lugar inundaciones generalizadas cada pocos siglos. (En octubre, Ingrid Hendy, de la Universidad de Michigan, y sus colaboradores publicaron un artículo basado en un método distinto de datación; en él se presenta un conjunto de datos relativos a la zona de Santa Bárbara que se desvían de 100 a 300 años de las seis fechas específicas, pero aun así sigue manteniéndose la frecuencia básica de una megainundación cada 200 años.)

Los depósitos de mayor espesor en la cuenca de Santa Bárbara se formaron en 1605 y alcanzan unos 5 centímetros a unos pocos kilómetros de la costa. Las inundaciones de 440 y 1418 dieron lugar a estratos de más de 2,5 centímetros. La diferencia es notable respecto a las capas de 0,6 y 0,2 centímetros que aparecen en la parte superior del mismo testigo y que se correlacionan con las tormentas de 1958 y 1964, respectivamente, consideradas entre las más violentas del siglo pasado. Las tres inundaciones anteriores debieron de resultar mucho más devastadoras que cualquier otra presenciada por el hombre.

Ríos en el cielo

Los ríos atmosféricos consisten en estrechas cintas transportadoras de vapor que recorren miles de kilómetros por encima del mar. La cantidad de agua que acumulan equivale a 15 ríos Mississippi. Se manifiestan en forma de series de tormentas que perduran durante días o semanas. Cada tormenta puede dejar varios centímetros de lluvia y decímetros de nieve.

Orientación

Cuando un río incide en dirección perpendicular a una cadena montañosa, gran parte del vapor de agua se condensa. Si lo hace en ángulo oblicuo (*imagen*), puede generarse un «chorro de barrera» que fluye paralelamente a las montañas, de modo que las precipitaciones se distribuyen a lo largo de la vertiente.

Chorro de barrera

Origen

Generalmente, los ríos atmosféricos que llegan a California proceden del suroeste y traen aire caliente y húmedo de los trópicos.

Duración

Una megatormenta puede llegar a durar 40 días y descargar a lo largo de la costa. Los ríos más pequeños de recurrencia anual suelen durar unos dos o tres días; los conocidos como *pineapple express* proceden directamente del área de Hawái.

Río atmosférico

400 km

1,6 km

Transporte de vapor

La humedad se concentra en una capa situada entre 0,8 y 1,6 kilómetros por encima del océano. Los intensos vientos que soplan en dicha capa transportan aire muy húmedo desde los trópicos, aunque el río también puede incorporar humedad atmosférica a lo largo de su trayectoria.

Ascenso

La masa de aire caliente y húmedo asciende y rebasa cadenas montañosas; al hacerlo, el aire se enfría y la humedad se condensa para formar lluvia y nieve. Por último, el río se desintegra y da lugar a tormentas locales aleatorias.

Precipitaciones

Un río atmosférico puede descargar varios centímetros de lluvia o decímetros de nieve al día. Una tormenta moderada puede generar más de 40 centímetros de lluvia.

Imagen no hecha a escala

También se han hallado indicios de inundaciones masivas a unos 240 kilómetros al noreste de la bahía de San Francisco en testigos recuperados de Little Packer, un pequeño lago situado en la llanura de inundación del río Sacramento, el más largo del norte de California. Durante un episodio de gran magnitud, los torrentes cargados de sedimentos se vierten en el lago y los materiales se depositan en el fondo y forman espesas capas de grano grueso. El geógrafo Roger Byrne, de la Universidad de California en Berkeley, y su entonces doctorando Donald G. Sullivan utilizaron el método del radiocarbono para determinar que se había producido una inundación equiparable a la de 1861-62 en los siguientes intervalos de tiempo: 1235-1360, 1295-1410, 1555-1615, 1750-70 y 1810-20. Es decir, una cada 100 o 200 años.

Algunas megainundaciones también nos legaron un registro de su paso por los angostos cañones de las montañas Klamath, en el extremo noroeste de California. Dos depósitos de particular espesor se formaron hacia 1600 y 1750, unas fechas que de nuevo concuerdan con los datos anteriores.

Al contrastar el conjunto de pruebas, se observa que el episodio de 1605 fue al menos un 50 por ciento más intenso que el resto. Y a pesar de la imprecisión de la datación por radiocarbono, cuyos resultados podrían reinterpretarse si mejoraran los métodos, el inquietante balance final es que cada dos siglos, más o menos, acontecen megainundaciones tanto o más intensas que la de 1861-62. Han pasado 150 años desde la calamidad y, por tanto, California podría ser pronto víctima de un nuevo evento.

AUMENTA LA PROBABILIDAD DE CATÁSTROFES

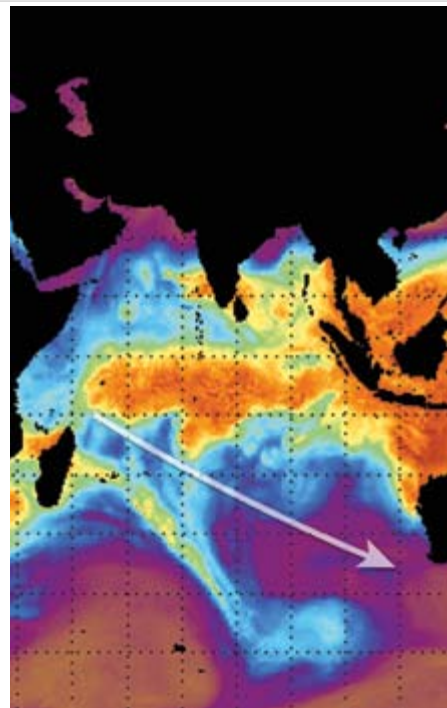
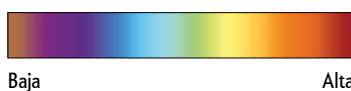
Irónicamente, los ríos atmosféricos que fluyen por encima de California no solo tienen repercusiones negativas. Los de tamaño más reducido que se forman anualmente suponen una valiosa fuente de agua. El análisis de la cantidad de lluvia y nieve que han transportado los ríos atmosféricos hasta la costa oeste de Estados Unidos en las últimas décadas, así como los datos registrados a largo plazo de lluvia, nieve y flujo de escorrentía, indican que, entre 1950 y 2010, estos fenómenos aportaron del 30 al 50 por ciento del agua total de California, en períodos de diez días de duración cada año. En el resto de la costa oeste se han calculado proporciones similares. Sin embargo, las tormentas han causado al mismo tiempo más del 80 por ciento de los desbordamientos de los ríos de California y el 81 por ciento de las 128 rupturas de diques mejor documentadas en el Valle Central.

Dado que los ríos atmosféricos constituyen el dramático desencadenante de las inundaciones, pero a la vez representan un vital aporte de agua, es comprensible preguntarse qué influencia ejercerá sobre ellos el cambio climático. Cabe recordar que Zhu y Newell acuñaron el término «río atmosférico» para describir ciertas peculiaridades que observaron en los modelos meteorológicos. Estos guardan una estrecha relación con los utilizados para predecir las consecuencias derivadas de un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero. En ellos no se programan específicamente los ríos atmosféricos; estos emergen como una consecuencia natural del modo en que operan la atmósfera y el ciclo hidrológico al simular situaciones pasa-

En todas las costas occidentales

Los ríos atmosféricos se forman sobre las aguas tropicales y fluyen hacia los polos en dirección a las costas occidentales de numerosos continentes (un río azotó Inglaterra en 2009). Los más prominentes se localizan a lo largo de la costa pacífica de EE.UU., pero en ocasiones pueden situarse en lugares inusuales, como el golfo de México (uno de ellos inundó Nashville en mayo de 2010). El número de ríos de vapor podría aumentar en el futuro a medida que el clima se calienta.

Concentración de vapor de agua atmosférico desde el 17-19 de diciembre de 2010



das, presentes y futuras. De ahí que aparezcan también en los modelos de predicción climática en las evaluaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

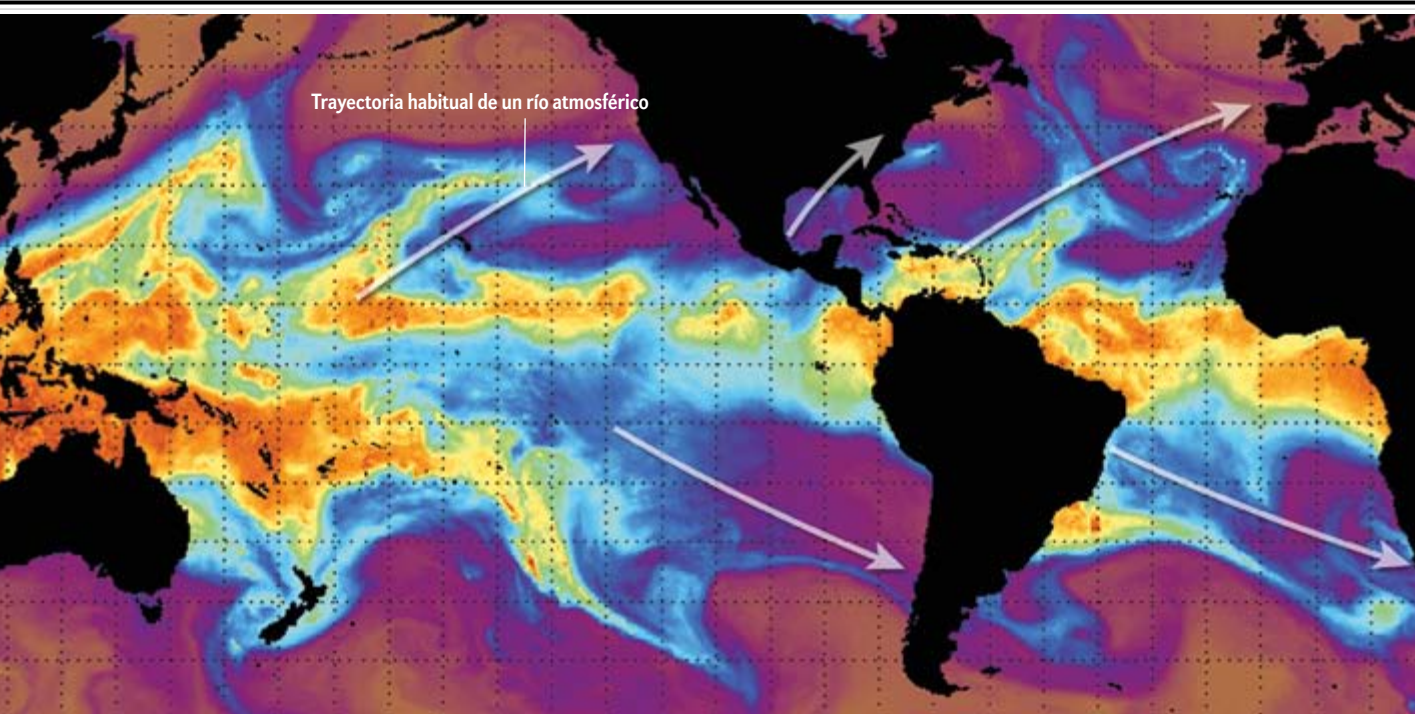
Uno de los autores (Dettinger) ha revisado hace poco siete modelos climáticos realizados en todo el mundo y ha concluido que seguirán llegando ríos atmosféricos a California a lo largo del siglo XXI. En las predicciones, las temperaturas del aire aumentan una media de unos 2,2 °C en respuesta a un incremento en la concentración de gases de efecto invernadero. Dado que una atmósfera más cálida retiene una mayor cantidad de vapor de agua, los ríos atmosféricos podrían transportar más humedad.

Por otro lado, puesto que se prevé que los trópicos y las regiones polares se calienten a distintas velocidades, se espera que los vientos sobre las latitudes medias del Pacífico se debiliten ligeramente. El volumen de lluvia generado por los ríos atmosféricos depende sobre todo de la cantidad de vapor que retienen y de la velocidad a la que se desplazan. Por tanto, cabe preguntarse si resultará más determinante el cambio en la humedad del aire o el de los vientos. Seis de los siete modelos climáticos apuntan a que la lluvia y la nieve que descargarán los ríos atmosféricos en California aumentarán en promedio un 10 por ciento hacia 2100. El incremento en la humedad del aire tendrá, pues, mayor peso que unos vientos atenuados.

Los siete modelos predicen que también ascenderá el número de ríos atmosféricos que alcanzan la costa californiana, desde un promedio histórico de nueve hasta once. Prevén asimismo que ocasionalmente se producirán episodios más graves que cualquier megatormenta sucedida hasta ahora. Dado el papel clave que han desempeñado los ríos atmosféricos en las inundaciones de California, incluso unos aumentos tan moderados constituyen un motivo de preocupación y deben continuar investigándose para asegurar la fiabilidad de las predicciones.

TIEMPO PARA TOMAR MEDIDAS

Vista la probabilidad de que aumente la frecuencia y la intensidad de los ríos atmosféricos, y dada la numerosa población



que reside hoy en sus trayectorias, ha llegado el momento de que la sociedad tome medidas. Con el fin de facilitar a los gestores de emergencias de California un ejemplo que les permita evaluar su planificación y metodología actuales, los científicos del Servicio de Inspección Geológica de EE.UU. (USGS) han reconstruido el escenario mencionado al comienzo de nuestro artículo: una megatormenta de magnitud semejante a la de 1861-62, pero con una duración de 23 días en lugar de 43. Para que la simulación, apodada ARkStorm (*Atmospheric River 1000 Storm*), resultara lo más realista posible, se han combinando los datos de dos de las secuencias de tormentas más intensas acontecidas en California en los últimos 50 años: enero de 1969 y febrero de 1986.

Los responsables del proyecto han realizado las simulaciones de ARkStorm en un amplio conjunto de condiciones meteorológicas, índices de precipitación y modelos económicos y tecnológicos. Los resultados indican que podrían producirse inundaciones continuadas en la mayor parte de las regiones bajas del norte y del sur de California. Tales eventos podrían conllevar la evacuación de 1,5 millones de habitantes. Los daños y las alteraciones causadas por los torrentes, así como por centenares de deslizamientos y vientos de fuerza huracanada en determinadas localidades, podrían causar pérdidas de 400.000 millones de dólares por daños en propiedades y en la agricultura. La interrupción de las actividades económicas y del empleo podría acarrear costes totales de más de 700.000 millones de dólares. A juzgar por los desastres acaecidos en el planeta en los últimos años, se piensa que tal calamidad podría quitar la vida a miles de personas (la simulación ARkStorm no predice el número de víctimas).

Los costes casi triplican los estimados por algunos de los miembros del proyecto del USGS que habían trabajado con otro escenario catastrófico denominado ShakeOut: un hipotético terremoto de magnitud 7,8 en el sur de California. Una megatormenta desatada por un río atmosférico podría suponer un mayor riesgo para el estado que un terremoto de gran mag-

nitud. Resulta verosímil, incluso tal vez inevitable, que un evento de tipo ARkStorm afecte a California. Y los sistemas estatales de protección de inundaciones no están diseñados para lidiar con él. El único aspecto esperanzador es que hoy contamos con avances científicos y tecnológicos que permitirían prever tales episodios en cualquier lugar con días o más de una semana de antelación. Una planificación adecuada y un esfuerzo continuado por mejorar las predicciones podrían reducir los daños y las víctimas mortales.

La misma promesa, y también la advertencia, pueden aplicarse a las costas occidentales de otros continentes. Los ríos atmosféricos se han estudiado con mayor detalle en la costa californiana que en el resto del mundo, pero no hay motivos para esperar que las tormentas resulten menos frecuentes e intensas en otros puntos. La próxima megainundación podría suceder en Chile, España, Namibia o el oeste de Australia.

Los californianos, así como los habitantes de la costa occidental de Estados Unidos, deberían concienciarse de las amenazas que suponen los ríos atmosféricos y tomarse muy en serio las predicciones de tormentas e inundaciones. Los responsables de planificación y los líderes políticos de las zonas urbanas deberían, asimismo, tenerlo en cuenta en sus decisiones sobre inversiones futuras. Quien olvida el pasado puede hacer que este se repita.

PARA SABER MÁS

- Lluvias torrenciales. Clemente Ramis et al. en *Investigación y Ciencia*, n.º 296, mayo de 2001.
- Holocene paleoclimate records from a large California bay estuarine system and its watershed region: Linking watershed climate and bay conditions. Frances P. Malamud-Roam et al. en *Quaternary Science Reviews*, vol. 25, n.º 13-14, págs. 1570-1598, julio de 2006.
- Storms, floods, and the science of atmospheric rivers. Michael D. Dettinger y F. M. Ralph en *Eos*, vol. 92, n.º 32, pág. 265, 2011.
- Design and quantification of an extreme winter storm scenario for emergency preparedness and planning exercises in California. Michael D. Dettinger et al. en *Natural Hazards*, vol. 60, n.º 3, págs. 1085-1111, febrero de 2012.