

El momento previsto para el inicio de un clima que excede la variabilidad reciente

Nature; vol. 502 10 October 2013 pp 183-187 ARTICLE RESAERCH

Camilo Mora; Abby G. Fraziwer, Ryan J. Longman, Rachel Dacks, Maya M Walton, Eric J. Tong, Joseph J Sanchez, Lauren R Kaisers, Yuko O. Stender, James M. Anderson, Christine M. Ambrosino, Iria Fernandez-Silva, Louise M. Guiseffi & Thomas W Giambelluca

Los trastornos ecológicos y biológicos debidos al cambio climático actual están críticamente determinados por el marco temporal sobre el cual el clima cambia más allá de los climas históricos análogos. Aquí se presenta un nuevo índice del año en que la media climática de una determinada localidad se mueve hacia un estadio que queda fuera de los límites de la variabilidad histórica bajo los escenarios alternativos de emisiones de gases de efecto invernadero. Usando el periodo 1860 a 2005 como periodo histórico, este índice tiene una media global de 2069 (± 18 años) para la temperatura del aire cerca de la superficie, bajo un escenario de estabilización de las emisiones y 2014 (± 14 años) bajo un escenario en que todo siga como va. ("business-as-usual"). Climas sin precedentes ocurrirán primero en los trópicos y en los países de baja renta, destacando la vulnerabilidad de la diversidad global y la limitada capacidad de los gobiernos para responder a los impactos del cambio climático. Nuestros hallazgos ponen de relieve la urgencia de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero si se quiere prevenir climas potencialmente dañinos para la biodiversidad y la sociedad.

El clima es un factor primario de los procesos biológicos que opera desde los individuos a los ecosistemas y que afecta varios aspectos de la vida humana. Además, los climas sin precedentes modernos pueden causar grandes y potencialmente serios impactos en los sistemas ecológicos y sociales. Por ejemplo, especies cuya persistencia está condicionada por el clima pueden responder bien sea con cambios en su distribución geográfica, bien quedándose en el lugar y adaptándose o extinguiéndose. Los cambios en la distribución de las especies y en la abundancia de ejemplares pueden incrementar el riesgo de extinción, alterar la estructura de la comunidad y trastornar las interacciones ecológicas y el funcionamiento de los ecosistemas. El cambio del clima puede afectar también al bienestar humano a través de cambios en la disponibilidad de alimentos y de agua, en la salud humana a través de la dispersión de los vectores de las infecciones, a través del estrés debido al calor y a través de enfermedades mentales, puede afectar a la economía por medio de cambios en los bienes y servicios y a la seguridad nacional como resultado de cambios en la población, destacando la competencia por los recursos naturales, los conflictos violentos y la inestabilidad política. Aunque la mayoría de los sistemas ecológicos y sociales tienen la capacidad de adaptarse a un clima cambiante, la magnitud de la alteración en ecosistemas y sociedades estará fuertemente determinada por los marcos temporales en los cuales el clima alcance áreas de la Tierra donde es probable que tengan lugar climas sin precedentes en respuesta a las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero, nuestra comprensión del cambio climático todavía carece de una indicación precisa del tiempo en que el clima de una determinada localización cambiará para quedar por completo fuera del rango del clima precedente.

Para proporcionar una indicación del tiempo proyectado para el inicio de esta situación climática bajo los escenarios alternativos de emisiones de gases de efecto invernadero, hemos desarrollado un índice que determina el año en que los valores de una variable climática dada excede los límites de la variabilidad histórica para una localización particular (figura 1a). Destacamos que aunque nuestro índice identifica, por lo general, fechas futuras, esto ni implica que el cambio climático no pueda estar ya ocurriendo. De hecho, nuestro índice señala el momento en que el cambio climático en curso empieza a ser un clima radicalmente diferente. Para este análisis hemos usado la proyección de 19 modelos del *Earth System Models* desarrollados por el *Coupled Model Intercomparison Project phase 5* (CMIP5). Los límites de la variabilidad del clima han sido cuantificados como los valores mínimo y máximo proporcionados por los modelos del *Earth System* con el "experimento histórico", el cual para todos los modelos incluía el periodo de 1860 a 2005. Este experimento incluyó los cambios observados en la composición atmosférica (reflejando las fuentes antropogénicas y naturales) y estaba diseñado para modelar el pasado reciente del clima y permitir validar las salidas del modelo frente a las observaciones climáticas disponibles. El año al cual la variable del clima se mueve fuera de los límites históricos fue estimado independientemente con datos procedentes del *Representative Concentration Pathways* 4,5 (RCP45) y 8,5 (RCP85), que incluían el periodo 2005-2010. Estos escenarios senda representan esfuerzos contrastados de mitigación entre un escenario acordado de rápida mitigación y un escenario "business-as-usual" (seguimos igual) (las concentraciones de CO₂ pueden crecer a 538 y 936 ppm hacia 2100 de acuerdo con el RCP45 y RCP85, respectivamente). Un escenario de mitigación más

agresivo (RCP2,6) no se ha analizado porque no era consistente usarlo entre modelos y el esfuerzo implícito de mitigación se considera inviable.

Analizamos cinco variables del clima para la atmósfera y dos para los océanos (Datos extendidos en la tabla 1). Sin embargo, aportamos los resultados con la media anual de la temperatura del aire cerca de la superficie como nuestro indicador climático, excepto que se especifique otro. Medidas simuladas y actuales de la temperatura para el periodo 1986-2005 fueron notablemente similares (Datos extendidos fig. 1). Además describimos nuestros resultados sobre la base de medias multi-modelos. Mostramos las desviaciones estándar para informar de la variabilidad espacial en nuestros resultados. La incertidumbre multi-modelo (esto es la variabilidad entre modelos en los años precedentes) fue medida como error estándar de la media, el cual, para la temperatura del aire cerca de la superficie, tiene un valor global de 4,2 años para RCP45 y 2,7 años para RCP85 (Datos extendidos fig. 2^a). La incertidumbre multi-modelo para todas las variables se muestra en los Datos extendidos fig. 2.

Sensibilidad del índice

Tres factores pueden afectar el resultado de nuestro índice: primero el número de años usados como periodo de referencia histórica (un periodo más largo de referencia histórica puede proporcionar más amplios límites de variabilidad climática); segundo, el número de años consecutivos fuera de los límites históricos en orden a declarar el momento del cambio de clima (por ejemplo, un solo año fuera de los límites históricos probablemente ocurrirá antes que varios años consecutivos); y tercero, la extensión en que el periodo de referencia histórica ha sido afectado por gases antropogénicos de efecto invernadero (El uso de un periodo que ya contiene efectos antropogénicos rendiría límites más amplios de variabilidad climática). Para resolver los dos primeros factores, calculamos el año en que el clima excede los límites de la variabilidad histórica usando diferentes periodos de referencia histórica y variando el número de años consecutivos fuera de los límites históricos. Encontramos que el año en el cual el clima excede los límites de la variabilidad histórica cambió mínimamente cuando los límites del tiempo histórico usado se extendían de 20 a 140 años (fig. 1b). A pesar de que nuestro análisis estaba limitado por los 140 años de datos del modelo disponible, la relación observada entre los límites del tiempo histórico (X) y el año que excedía el margen de variabilidad histórica del clima (Y) mostraba una fuerte

correlación para ambos RCPs ($Y=1,2773 \ln X+2063,2$ para RCP45; $Y=1,0865 \ln X+2042,2$ para RCP85 (línea de trazos en fig. 1b): $r^2=0,99$ y $P<0,001$ en ambos casos). Bajo ambos RCP extrapolando estas ecuaciones desde un marco temporal de 140 años a un marco de 1000 años, el año que excede los límites de la variabilidad histórica del clima se incrementa en solo 2 años. En contraste, el año en que el clima excede los límites de la variabilidad histórica fue sensible al número de años consecutivos fuera del límite considerados (fig. 1c). Según se ilustra para la localización en la fig. 1^a, el clima experimentará tres años consecutivos fuera de los límites históricos hacia 2012, 11 años consecutivos en 2023 y todos los años consecutivos en 2036. Para asegurar la fortaleza de nuestros resultados hemos usado los valores mínimo y máximo en todo el tiempo del experimento histórico de los 39 modelos *Earth System* disponibles, proponiendo que nuestros resultados inclúan los más amplios límites históricos posibles, dados los datos disponibles. De modo similar hemos usado el primer año después del cual todos los valores excederían continuamente los límites de la variabilidad histórica del clima.

Para enfrentarnos al tercer problema hemos comparado nuestros resultados del experimento histórico con lo obtenidos de un experimento adicional CMIP5, "HistoricalNat", el cual simulaba el mismo ámbito de tiempo que el experimento histórico, pero considerando solamente los forcings naturales (por ejemplo volcanes y variabilidad solar) pero excluyendo las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. El resultado de este análisis (fig. 1d) indicaba que el clima sobrepasa los límites de la variabilidad histórica 18,5 años antes bajo el modelo RCP45 y 11,5 años antes bajo RCP85 cuando se usa simulaciones históricas que excluyen el forcing de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (historicalNat) en comparación con aquellos que las incluyen (experimento histórico). No hemos usado el experimento "HistoricalNat" en nuestros principales resultados porque estaba disponible solamente para 17 de los 39 modelos *Earth System* en CMIP5 (tabla de datos extendida) y con ello hubiéramos sacrificado la fortaleza conseguida usando todos los modelos disponibles. Sin embargo, el test de sensibilidad proporciona una medida del probable ajuste en el periodo de tiempo proyectado para el inicio del clima alterado si el periodo histórico sin efectos humanos fuera usado para cuantificar la variabilidad pasada del clima y sugiere que los valores señalados usando el experimento histórico son altamente conservadores.

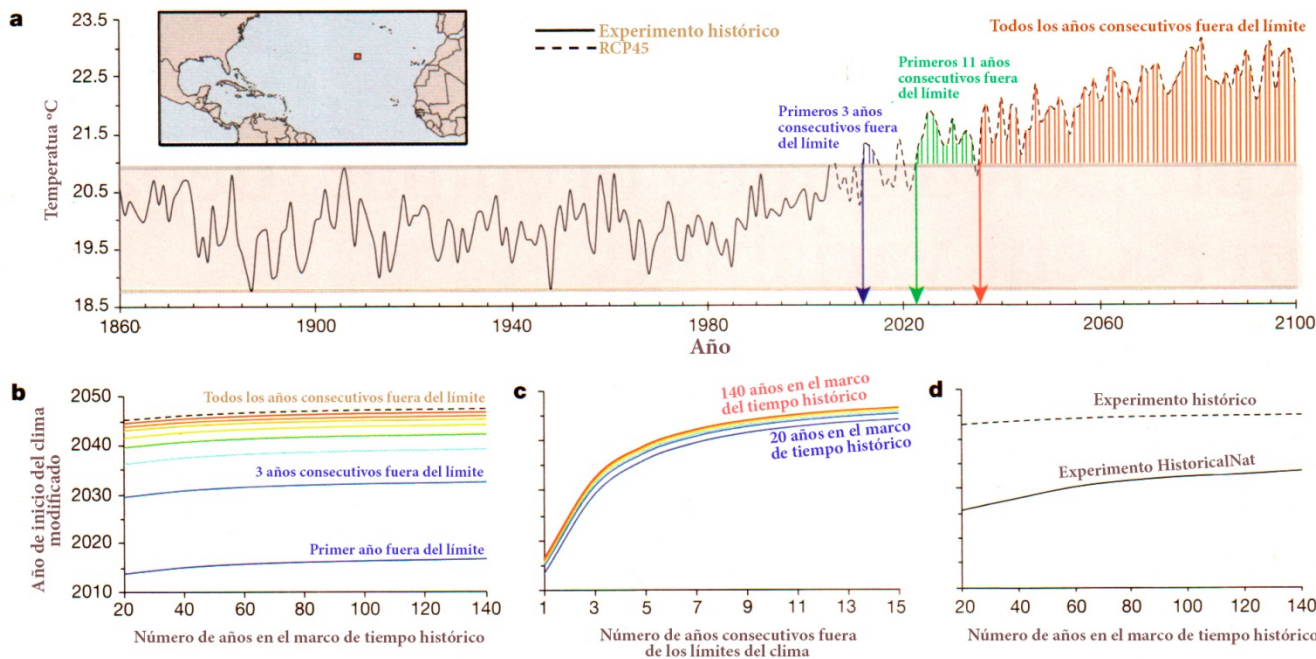


Figura 1. Estimación del tiempo en que se proyecta el inicio del clima que excede la actual variabilidad. a) Media anual de temperaturas en una célula de una red (pequeño cuadrado en el mapa) que exceden los límites de la variabilidad del clima histórico (área gris) durante tres años consecutivos empezando en 2012 (flecha azul), y para once años consecutivos desde 2023 (flecha verde). Después de 2036 (flecha roja) todos los años siguientes estarán fuera de los límites (Datos procedentes de Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Earth System Model 2G) b,c) Efecto de usar diferentes periodos de referencia histórica (b) y diferente número de años consecutivos que exceden los límites históricos (c) sobre el tiempo proyectado para el inicio del clima que excede de las medias globales multi-modelo bajo RPC85. d) Comparación del momento proyectado para el inicio del clima modificado con respecto a la reciente variabilidad bajo RPC85, usando los experimentos histórico de "HistoricalNat" como referencia para establecer los límites de la variabilidad histórica del clima.

El momento de inicio del clima alterado

Hemos hallado que el año en que el clima excederá los límites de la variabilidad histórica depende del escenario modelado. Bajo RCP45, la temperatura del aire cerca de la superficie proyectada en promedio para el planeta quedará fuera de la variabilidad histórica en 2069 (± 18 años, dentro de 56 años, línea azul continua en la fig. 2d) y dos décadas antes bajo RCP85 (es decir 2047 - ± 14 años-, dentro de 34 años, línea roja continua en la fig. 2d). Estos resultados son indicadores ilustrativos del ritmo del cambio climático, si uno considera que el momento de inicio del clima alterado ocurrirá antes si las condiciones del clima "prístino" (esto es el experimento historicalNat) se usan para establecer los límites del clima histórico: dentro de 37,5 años bajo RCP45 y sólo 22,5 bajo RPC85. Para el océano, los límites históricos de la temperatura de superficie serán sobrepasados en promedio hacia 2072 (± 17 años) bajo RCP45 y hacia 2051 (± 16 años) bajo RCP85 (datos extendidos Fig.3). Cuando se calcula el índice con los valores mensuales (ver métodos) todos los meses consecutivos estarán fuera de los límites mensuales históricos a finales de siglo (fig.2b, líneas de puntos en la fig. 2d; ver también los datos extendidos Fig.3b,d). El año estimado cuando el clima exceda la variabilidad histórica se retrasa cuando se usan las medias mensuales porque un año anómalo no resulta necesariamente de que todos sus meses sean

extremados por lo que probable que una media anual anómala ocurra antes que la media del año en que todos los meses quedan fuera de los límites mensuales de variabilidad. Sin embargo, es notable que desde 2050 la mayor parte de las regiones tropicales tendrán todos los meses fuera de su rango histórico de variabilidad (fig.2b). Aunque esto ocurre más tarde que la media anual, advertimos que esta es una situación extrema en la que cada mes represente un registro climático extremo.

Usamos la media anual de la temperatura cerca de la superficie como el proxy principal para el clima. Sin embargo, otras variables pueden cambiar antes o después que las temperaturas en respuesta a las emisiones de gases de efecto invernadero. Para evaluar este efecto hemos analizado variables climáticas adicionales bajo ambos escenarios de emisión y proporcionamos una evaluación de conjunto del clima estimando el año en el cual la primera variable climática excede sus límites históricos de variabilidad. Tales variables incluían evaporación, transpiración, flujo de calor sensible y precipitación para la atmósfera terrestre y pH de superficie para el océano. Para la atmósfera, el momento proyectado de inicio de años sucesivos que exceden los límites no cambia cuando se consideran otras variables climáticas junto a la temperatura del aire (Datos extendidos, Fig.4). Esto sucede porque la temperatura del aire experimentará los cambios más

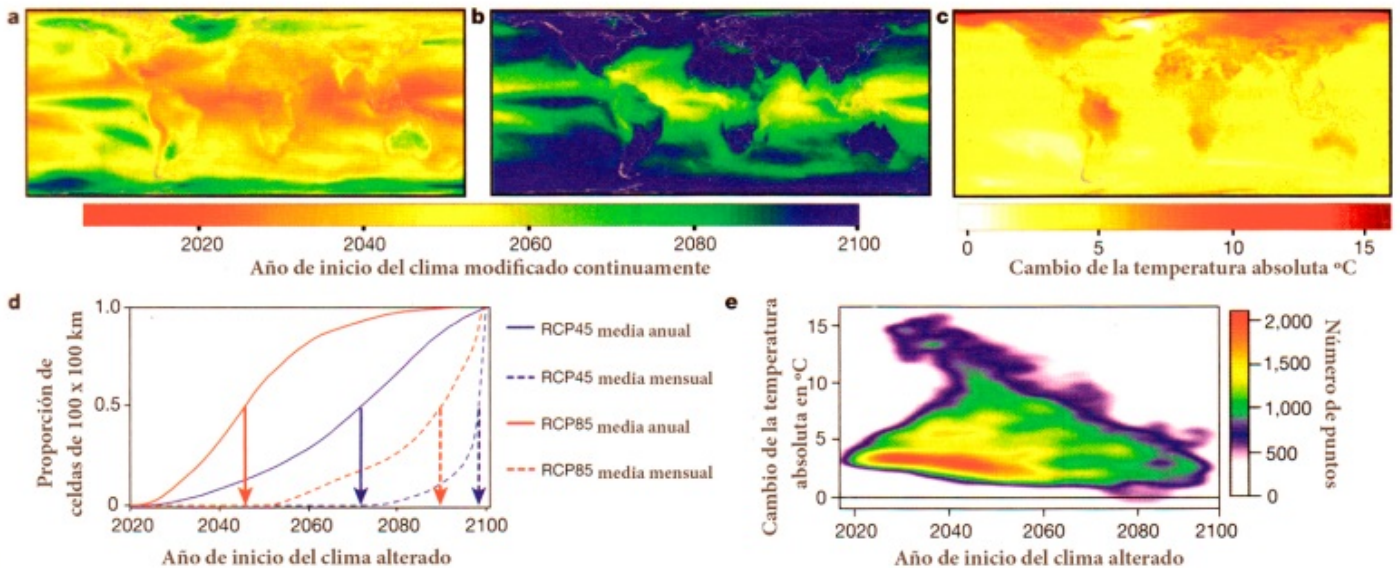


Figura 2. Momento proyectado de inicio del clima alterado con respecto a la variabilidad reciente. a,b,) año proyectado cuando la temperatura media del aire se mueve a una situación que continuamente está fuera de los límites históricos anuales (a) o mensuales (b) respectivamente. c) Cambio absoluto en la temperatura media anual del aire (los resultados en a-c están basados en RCP85. d)) Frecuencia acumulativa de celdas de 100km acordes al momento proyectado del inicio del clima alterado continuamente con relación a la reciente variabilidad para la temperatura del aire bajo dos escenarios de emisión (las líneas verticales indican el año medio). e) gráfico de dispersión relacionando las celdas del mapa de cambio absoluto (c) con las mismas celdas del mapa del momento proyectado del inicio del clima alterado continuamente. (a).

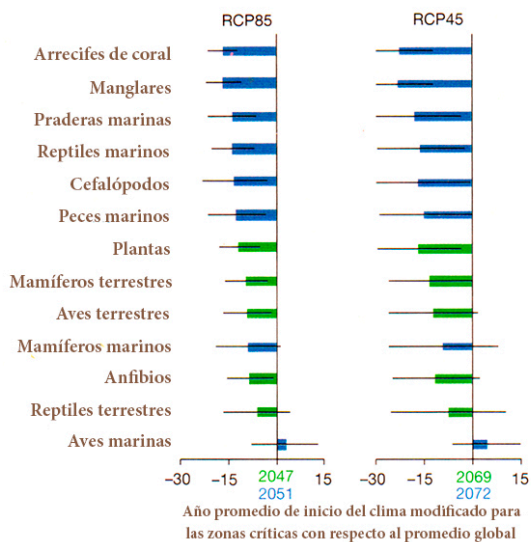
tempranos y más sostenidos en comparación con las otras variables atmosféricas (es decir, otras variables atmosféricas sobrepasarán de modo continuo sus límites de variabilidad histórica más tarde que la temperatura, Datos extendidos, Fig.4). No obstante, el inicio proyectado en que el clima del océano ha sido movido a esta década cuando el pH se considera junto a la temperatura de la superficie del mar. La media global del pH del océano sobrepasa su variabilidad histórica en 2008 (± 3 años), independientemente del escenario de emisiones utilizado (Datos extendidos, Fig.4). Este resultado que resulta consistente con estudios recientes, se explica por el hecho de que el pH del océano tiene un estrecho rango de variabilidad histórica y porque una considerable proporción de las emisiones antropogénicas de CO₂ han sido absorbidas por el océano.

Tiempos y cambios absolutos en el clima

Los cambios absolutos en el clima son a menudo el medio de detectar o valorar el cambio climático y se espera que sean considerablemente más importantes en las altas latitudes (Fig.2c; ver también ref.25), las medidas de los cambios absolutos en el clima han dominado también el diálogo sobre el cambio climático (por ejemplo, evitar 2°C de calentamiento se reconoce generalmente como una meta entre los científicos, los políticos y el público porque alcanzar y superar ese valor se prevé que

generará nocivas consecuencias para la sociedad y para el medio). Sin embargo, nosotros hemos encontrado una pobre correlación espacial (Fig.2b) entre el cambio climático absoluto esperado para el año 2100 (Fig.2c) y el año en que el clima sobrepasará los precedentes históricos (Fig.2a); esta pauta es consistente en otras variables del clima. (Datos extendidos Fig.4). este resultado sugiere que algunos aspectos del cambio climático que pueden resultar perjudiciales para la biodiversidad están pobremente explicados por la métrica de cambios absolutos en el clima e implica que la biodiversidad global puede enfrentarse a un cambio climático con una “doble amenaza”, bien sea de los grandes cambios absolutos o la temprana llegada de climas extremos sin precedentes.

También hemos encontrado que los trópicos la más temprana emergencia de climas sin precedentes históricos (Fig. 2a,b). Esto, probablemente, sucede porque la variabilidad relativamente pequeña del clima en estas regiones del mundo genera estrechos límites climáticos que pueden ser fácilmente sobrepasados por cambios en el clima relativamente pequeños. No obstante, los cambios climáticos pequeños pero rápidos podrían inducir respuestas biológicas considerables en los trópicos porque, seguramente, las especies que allí hay están adaptadas a estrechos límites climáticos. .



análisis se desarrolló independientemente para cada zona crítica, usando la media anual de la temperatura del aire para los taxones terrestres (barras verdes) o de la temperatura de la superficie del mar para los taxones marinos (barras azules). Los gráficos están centrados en la respectiva media anual global de los medios ambientales para la atmósfera (números verdes) y marina (números azules). Las barras horizontales ordenan las zonas críticas cronológicamente de acuerdo con la media del año en que no tiene precedentes según RCP85. Las líneas negras horizontales indican la desviación estándar entre celdas en las zonas críticas

Esta es una primera explicación para el declinar en el rango de especies hacia las más bajas latitudes (Regla de Rapoport): Debido a su más estrecha tolerancia, las especies tropicales están restringidas a los trópicos; en comparación, las amplias tolerancias fisiológicas de las especies de climas templados, les permiten sobrevivir en un extenso marco latitudinal. Además, estudios empíricos y teóricos en corales, ectotermos (animales de sangre fría) terrestres, plantas e insectos muestran que las especies tropicales viven en áreas con climas cerca de sus tolerancias fisiológicas y en consecuencia son vulnerables ante cambios climáticos relativamente pequeños.

La emergencia más temprana de climas sin precedentes en los trópicos y la limitada tolerancia al cambio climático de las especies tropicales son resultados perturbadores porque la mayor parte de la biodiversidad del planeta se concentra en los trópicos (Datos extendidos Fig.5; ver también la ref. 33), Hemos encontrado que, en promedio, el momento proyectado del inicio de clima sin precedentes históricos en zonas críticas de biodiversidad marina y terrestre ocurre una década antes que la media global bajo ambos escenarios de emisión (Fig.3). Las zonas críticas para el coral experimentarán la más temprana llegada de climas sin precedentes: 2050 bajo RCP45 (23 años antes que la media global) o 2034 bajo RCP85 (unos 17 años antes que la media global) (fig.3). Con la excepción de las aves marinas cuyas zonas críticas están localizadas a altas latitudes (Datos extendidos, Fig. 5d, ver también ref.39).

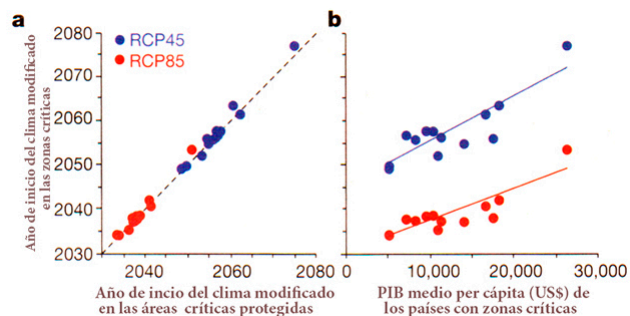


Figura 4. Zonas críticas en biodiversidad: exposición al inicio del clima modificado y capacidad económica de respuesta. Cada uno de los puntos en estos gráficos representa una de las 13 zonas críticas en biodiversidad taxonómica consideradas. **a)** Comparación del año en que el clima excede los límites de la variabilidad histórica entre zonas críticas y áreas protegidas en aquellas zonas críticas. La línea de trazos muestra la relación 1:1. **b)** Comparación del año en que el clima excede el límite histórico de variabilidad en zonas críticas con la media del Producto Interior Bruto per cápita por países que incluyen zonas críticas. La línea de tendencia para RCP45 esta modelada con $y=0,001x+2045,2$ ($r^2=0,75, P<0,05; n=13$ zonas críticas) y para RCP85 con $y=0,0007x+2030,4$ ($r^2=0,75P<0,05; n=13$ zonas críticas)

En las zonas críticas de los otros taxones considerados, los climas sin precedentes tendrán lugar como muy tarde en 2063 (RCP45) o en 2042 (RCP85), (Fig.3). Todos estos resultados sugieren que el efecto más serio del cambio climático sobre la biodiversidad puede suceder no solo como resultado de grandes cambios absolutos del clima en las altas latitudes, sino también, y quizá más seriamente, como consecuencia de pequeños e inmediatos cambios en los trópicos. En breve, los trópicos serán altamente vulnerables ante el cambio climático al menos por tres razones: primero, la temprana emergencia de climas que allí no tienen precedentes; segundo, las especies tropicales son más vulnerables a pequeños cambios en el clima; y tercero, esta región contiene la mayoría de las especies de la Tierra.

Discusion

Las respuestas biológicas esperadas como consecuencia de los climas sin precedentes históricos probablemente son idiosincrásicas y dependerán de atributos tales como capacidad adaptativa de las especies, diversidad genética, capacidad para migrar, disponibilidad de hábitat, ruptura de interacciones ecológicas y escapes ecológicos. Aunque la extensión de estas respuestas en el futuro ha sido tema de debate, cambios considerables en la estructura de la comunidad y la extinción han coincidido en el pasado con la emergencia de climas sin precedentes. Desgraciadamente las estrategias de conservación claves, tales como áreas protegidas, las cuales pueden mejorar la importancia de varios impactos antropogénicos, es poco probable que proporcionen refugio frente a los efectos esperados del cambio

climático porque las áreas protegidas dentro de las zonas críticas experimentarían los climas sin precedentes al mismo tiempo que las áreas no protegidas de las zonas críticas (Fig. 4^a, ver también ref. 50). La expansión y/o efectividad de las áreas protegidas y de otras estrategias de conservación podrían verse afectadas por la limitada capacidad de los gobiernos porque la temprana emergencia de climas sin precedentes tendrá lugar entre las zonas críticas predominantemente localizadas en países de baja renta (Fig.4b y Datos extendidos Fig.6).

La emergencia de climas sin precedentes podría también inducir respuestas en las sociedades humanas y el ajuste resultante podría ser considerable porque de acuerdo con RCP454 en torno a 1.000 millones de personas (en torno a 5.000 millones según RCP85) viven en áreas donde el clima excederá los límites de variabilidad histórica hacia 2050 (Fig.5a). El hecho de que el más temprano inicio del clima fuera de los límites de variabilidad tendrán lugar en países de baja renta (Fig.5b) pone de relieve además una obvia disparidad entre aquellos que se benefician económicamente de los procesos desencadenados por el cambio climático y aquellos que tienen que pagar la mayoría de los costes ambientales y sociales. Esto sugiere que cualquier progreso en el decrecimiento de la tasa de avance del cambio climático requerirá un mayor compromiso de los países desarrollados para reducir sus emisiones, pero también requerirá una financiación mucho mayor para los programas sociales y de conservación de los países en vías de desarrollo para minimizar los impactos del cambio climático. Nuestros resultados sobre el momento que resulta de las proyecciones del inicio del clima fuera de los límites de la variabilidad reciente arroja pone de relieve la urgencia de mitigar la emisión de gases de efecto invernadero si se trata de prevenir la ext3ensión de los cambios en la biodiversidad global y en las sociedades humanas,

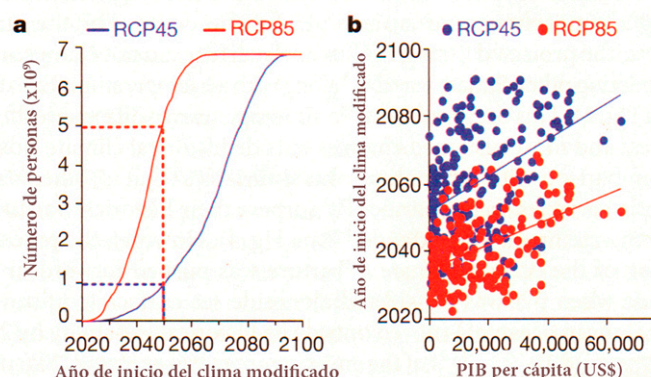


Figura 5. Susceptibilidad de las sociedades al inicio del clima modificado y capacidad económica de respuesta. a) Gráfico del número acumulativo de personas con relación a los años en que el clima de las zonas donde viven habitualmente excederá los límites de la variabilidad histórica (las líneas de trazos destacan los resultados para 2050) b) Relación entre el PIB per cápita y el año medio en que se iniciará el clima modificado con respecto a la variabilidad reciente. La línea de tendencia para RCP45 está modelada con $y=0,0005x+2051,9$ ($r^2=0,9, P<0,05; n=200$ países o territorios) y para RCP85 con $y=0,0004x+2034,5$ ($r^2=0,25, P<0,05; n=200$ países o territorios).

MÉTODOS

Hemos usado las proyecciones de siete variables del clima (temperatura del aire cerca de la superficie, precipitación, evaporación, transpiración, flujo de calor sensible en superficie, y pH de la superficie del océano) procedentes de los modelos Earth System desarrollados para CMIP5. Como en Marzo de 2013 había 39 modelos Earth System de 21 centro dedicados al clima en 12 países que habían modelado al menos una de las variables analizadas (datos extendidos Tabla 1). Para cada modelo y variable hemos usado el periodo 1860-2005 del experimento histórico (el marco temporal más largo común a todos los modelos) para establecer los límites históricos de variabilidad del clima. Las proyecciones de RCP45 y RCP85 que simulan el periodo 2006-2100 fueron usadas para identificar el año en que los valores medios anuales de una variable dada excederán los límites históricos. De forma independiente hemos calculado el año en que el clima excederá la variabilidad mensual histórica para identificar el año que contiene el mes tras el cual todos los meses consecutivos hasta 2100 exceden los límites históricos mensuales (Fig.2b) En total para todas las variables y experimentos hemos procesado 89.712 años de datos comprendiendo 1.076.544 mapas mensuales globales, interpolado a una malla con una resolución de 100 km. El cambio climático absoluto (Fig.2c y Datos extendidos Fig 3c y 4) fue calculado sustrayendo las medias contemporáneas (1996 a 2005) de las medias futuras (2091 a 2110). Las medias decadales fueron escogidas para minimizar el aliasing por variabilidad inter-anual. El momento proyectado para el inicio del clima sin precedentes en las zonas críticas de biodiversidad (Fig.3), en las áreas protegidas (Fig.4) en las áreas pobladas (fig.5) y la capacidad económica de los países (fig.5b) fueron estimadas muestreando estas áreas a partir de un mapa global de resultados sobre el inicio calculado del clima alterado (basado en la temperatura del aire cerca de la superficie o en la temperatura de la superficie del mar). Todas las fuentes de datos se indican en los datos extendidos tabla 2.

Contenido online: Cualquier método adicional, datos extendidos, imágenes, fuentes de los datos están disponibles en la versión online de este artículo. Las referencias a estas secciones aparecen solo en la versión en papel.