

MEMORIAS DE UN CLIMA CAMBIANTE

Entender el pasado para corregir
el futuro. Una visión científica sobre
la emergencia climática

JAVIER MARTÍN-CHIVELET

Memorias de un clima cambiante

© 2019, Javier Martín-Chivelet

© 2019, de esta edición, Shackleton Books, S.L.

Shackleton
— b o o k s —

   @Shackletonbooks
shackletonbooks.com

Realización editorial: Bonallettera Alcompas, S.L.

Diseño de cubierta: Pau Taverna

Diseño de tripa y maquetación: Kira Riera

Cartografía incluida en los apéndices: Geotec

© Fotografías: todas las imágenes de este volumen son de dominio público excepto las de las páginas 13, 43, 53, 55, 59, 143 (imágenes del autor), NASA (earthobservatory.nasa.gov) (p. 19), Paleomap Project (www.scotese.com) (p. 28), C. Diéguez (p. 35), del autor a partir de datos de NOAA Paleoclimatology Program-Paleocean Site Data, Shackleton, 2005 (p. 54), Mark Twickler University of New Hampshire (www.nndc.noaa.gov) (p. 67), del autor, a partir de datos de Petit *et al.* (1999), *Nature* 399, 429-436 (p.68), Jordi Dacs [basada en la de Robert Simmon, NASA. Modificaciones: Robert A. Rohde (NASA Earth Observatory) [d. p.]/Wikimedia Commons] (p. 75), del autor, a partir de datos de Kindler *et al.*, 2014, *Climate of the Past* 10, 887-902 (p. 76), M.A. Martín Merino. G.E. Edelseiss (p. 79), R. Alley (2000) *Quat. Sci. Reviews* 19, 213-226 (p. 89), Martín-Chivelet *et al.* (2011), *Global and Planetary Change* 77, 1-12 (p. 102), del autor, a partir de datos de Steinhilberg *et al.* (2012). *PNAS* 109, 5967-5971 (p. 110), T. J. Casadevall, U.S. Geological Survey. [d. p.]/Wikimedia Commons (p. 112), del autor, a partir de datos de Global Carbon Project (p. 122), del autor, a partir de datos de giss.nasa.gov (p. 130), Bernhard Staehli/Shutterstock (p. 149), superjoseph/Shutterstock (p. 157).

Depósito legal: 24519-2019

ISBN: 978-84-17822-91-0

Impreso por GPS Group (Eslovenia).

Reservados todos los derechos. Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento y su distribución mediante alquiler o préstamo públicos.

CONTENIDO

Pasado, presente y futuro	7
Historial clínico de un longevo paciente	8
Protagonistas	12
Forzamiento y sensibilidad	20
Bajando a los infiernos	25
Los hipertermales	26
Subiendo el termostato	29
Megatormentas	36
El océano se acidifica	37
Anoxia y euxinia	41
Recuperando el equilibrio	45
Lecciones del pasado (I)	47
Entre mantos de hielo	49
Un actor inesperado	50
El período más frío	57
Un mundo brillante	61
Una atmósfera descarbonizada	64
Sorpresas en el hielo: un clima inestable	70
Lecciones del pasado (II)	82
Milenios de civilización y clima	85
Luz al final del túnel	88
Cambio climático y desarrollo cultural	94
Hipopótamos del Sahara	97
Pequeños cambios que determinaron la Historia	98
Forzando la estabilidad	105

Lecciones del pasado (III)	116
El problema actual	119
Quemando nuestro futuro	120
No todo son gases de efecto invernadero	123
Algo más que síntomas: suben las temperaturas	128
Menos hielo y más océano	133
Riesgos del cambio climático	139
Modelos climáticos y proyecciones	140
Puntos sin retorno	146
Mitigación y adaptación	153
Reflexión final	159
Bibliografía recomendada	163
Glosario	167

Pasado, presente y futuro

Escribo estas líneas con los datos del clima en 2019 en mis manos, aún incompletos. Estos señalan a julio de 2019 como el mes más caluroso a escala global desde que se miden las temperaturas. Con una mayor duración, el período 2015-19 ha sido el quinquenio más caluroso desde que se tienen registros. Son nuevos récords de los que gustan los medios de comunicación, pero posiblemente muy efímeros, que serán superados en los años venideros, como muchos otros lo fueron antes. Basta revisar la hemeroteca para recordar que 2016, 2015, 2014, 2011, 2010, 2005, 1998, 1997 y 1995 fueron los años más cálidos en su momento... Y es muy remarcable que los diecinueve años más calurosos se hayan registrado desde 1998 hasta hoy, en tan solo veintidós años. Son noticias que nos resultan incómodas cuando nos llegan a través de la televisión, sentados plácidamente en el sofá y con el aire acondicionado bien regulado. Pero también son evidencias de que algo tremendo está empezando a ocurrir. Es el cambio climático, una amenaza global

a la que debemos enfrentarnos, y con carácter urgente. Los últimos avances nos dan una idea cada vez más precisa de esta, y de los elevados riesgos que entraña para la humanidad a corto y medio plazo.

Sin embargo, se abre todo un abismo entre la realidad de esos conocimientos científicos y la percepción sobre el cambio climático que tiene el grueso de la población, incluidos los sectores más cultos y mejor informados. Mientras que el público general niega su existencia, o la reconoce pero no la ve como una amenaza real, miríadas de científicos especializados claman sobre la proximidad de puntos sin retorno en el sistema climático, de graves consecuencias para nuestro planeta y nuestra civilización. En este libro recogemos parte de esta ciencia del cambio climático con la intención clara de acercar al lector, a través de un mundo de descubrimientos científicos sorprendentes, al gran problema que debemos afrontar.

Historial clínico de un longevo paciente

Un cambio es una modificación ocurrida en el tiempo. Siempre tenemos un «antes», un «durante» y un «después». El cambio climático no es una excepción, y su estudio se sustenta sobre tres pilares científicos con perspectivas temporales diferentes.

El primer pilar analiza el presente. Es la ciencia de la detección del cambio climático «en tiempo real»: medidas exhaustivas de las variables climáticas, así como de pará-

metros que nos indiquen modificaciones en los sistemas naturales (los ecosistemas) y humanos (las sociedades). Se basa fundamentalmente en la monitorización de las condiciones actuales y, en particular, de los sistemas de alerta que evidencien y caractericen el cambio y sus impactos. Es una tarea necesaria y fundamental, pero tiene una limitación inherente: ningún cambio puede «medirse» en tiempo real sin compararlo con una situación previa (el pasado). Solo analizando el día a día en un marco temporal más amplio se puede conseguir una perspectiva real del cambio y de su significado.

El segundo pilar se refiere al futuro. Es la ciencia de la predicción climática, orientada a corto y medio plazo, y se basa en modelos matemáticos que persiguen la ardua tarea de reproducir el sistema climático y de generar simulaciones fiables del clima para diferentes situaciones posibles de futuro. En las últimas décadas, los modelos han progresado muchísimo en complejidad y sensibilidad, en buena parte por la creciente capacidad computacional de los superordenadores, pero también gracias a los avances en el conocimiento del clima y de los cambios que experimentó en tiempos remotos. Los modelos, efectivamente, encuentran un patrón en los cambios climáticos del pasado: aquellos que superen la prueba de simular adecuadamente lo que ya se conoce que ha ocurrido serán también fiables para la predicción.

Y el tercer pilar se refiere al pasado. Es la ciencia de la reconstrucción, la modelización y el análisis de los cambios climáticos ya vividos. Esta ciencia estudia los factores que los condicionaron y analiza sus pautas y su impacto tanto

en los sistemas naturales como también (en el caso de las situaciones más recientes) en el desarrollo humano y las sociedades históricas.

De las tres líneas de actuación científica, las dos primeras nutren habitualmente a los medios de comunicación y a los documentales de divulgación, mientras que la tercera pasa más desapercibida, a pesar de que nos ofrece las claves para entender el problema en el que estamos inmersos. La imagen de un oso polar sobre un témpano en el Ártico o la de una zona de cultivo en África arrasada por la sequía son más noticia que los aspectos históricos del clima, que de alguna manera se perciben como algo curioso aunque muy obsoleto. Lo mismo ocurre con las vistosas simulaciones multicolor y 4D de los modelos climáticos más sofisticados, de un realismo asombroso. El bombardeo mediático de estas imágenes del mundo real y de las simulaciones de situaciones futuras nos pueden llevar a la falsa idea de que la ciencia del cambio climático es casi exclusivamente monitorización y modelado.

Con frecuencia algunos titulares de periódicos se refieren al cambio climático como una «enfermedad planetaria». Más allá de la subida de las temperaturas, los síntomas son múltiples: fusión glaciar, elevación del nivel del mar, cambios en las precipitaciones, daños de ecosistemas, catástrofes climáticas, extinción de especies, etcétera. Sin entrar todavía en la valoración científica de estas alteraciones, y ciñéndonos a la prosopopeya periodística, el diagnóstico y pronóstico de esa «enfermedad» pasa necesariamente por el conocimiento del historial del enfermo. ¿Son esos

síntomas algo usual en el pasado? ¿Ha sufrido el planeta dolencias similares? ¿Cuáles fueron sus causas? ¿Cómo fue la respuesta del enfermo a las mismas? ¿Hubo complicaciones? ¿Cómo evolucionó la enfermedad? ¿Dejó secuelas? A lo largo de este libro veremos que resulta bastante fácil trasladar estas preguntas médicas al ámbito del clima, y comprender su relevancia.

Una ciencia emergente y multidisciplinar nos da las respuestas. Se trata de la paleoclimatología, o el estudio de los climas antiguos. El prefijo *paleo* («antiguo») se justifica plenamente por el tipo de datos con el que trabaja. Son datos indirectos de las variables climáticas y, genéricamente, se llaman *proxies* climáticos.¹ La información del clima del pasado ha quedado grabada en un enorme archivo de datos, que es el registro paleoclimático. Este archivo, del que solo conocemos una pequeña parte, está formado por las rocas de origen sedimentario, los fósiles, los anillos de los árboles, las estalagmitas que crecieron lentamente en cuevas, el hielo acumulado en los glaciares, las formas relictas de paisajes antiguos, los datos históricos y arqueológicos, etcétera. Se trata de múltiples fuentes para descifrar y analizar, y que nos revelan el sorprendente mundo del cambio climático. Ellas conforman las *memorias del clima*.

¹ Debemos tener en cuenta que el registro instrumental de las variables que definen el clima (como la temperatura o las precipitaciones) se limita, en el mejor de los casos, a los últimos 150 años. Si hablamos de medidas directas de la radiación solar o de la composición atmosférica, el registro es todavía más corto. Desgraciadamente son lapsos temporales demasiado breves para contextualizar el cambio climático actual o conocer los que ocurrieron en el pasado.

Testigos del clima

Los cambios climáticos del pasado pueden reconstruirse gracias a los indicadores paleoclimáticos o *proxies*. Excelentes ejemplos de indicadores son las rocas sedimentarias, el hielo glaciar, los anillos de los árboles, los fósiles, los restos arqueológicos, las formas relictas del relieve, etcétera. Veremos varios ejemplos en este libro.

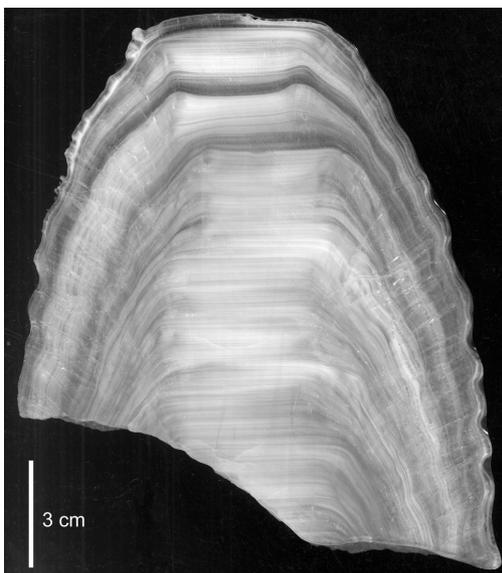
Se trata de una base de datos inmensa, aún hoy pobremente explorada, de la que podemos obtener datos indirectos sobre parámetros climáticos del pasado (como la temperatura, la precipitación o los vientos), sobre factores de forzamiento (la radiación solar, los gases de efecto invernadero o el albedo) y sobre los impactos del clima (inundaciones, sequías, alteraciones ambientales, crisis biológicas, etcétera).

Un aspecto fundamental de cualquier indicador es su datación, pues la variable inferida debe situarse con precisión en el tiempo. La resolución con la que se pueden situar temporalmente las variables

Protagonistas

Si la historia del clima fuese una serie televisiva con varias temporadas, veríamos múltiples capítulos con un buen desfile de escenarios y personajes, con episodios bastante aburridos alternados con otros de mucha acción. Y siempre tendría un hilo conductor fundamental que configuraría

difiere mucho según el tipo de material, el método de datación y la época considerada. Algunos casos, como los anillos de los árboles, las estalagmitas, los sedimentos lacustres o el hielo glaciar, presentan una estratigrafía de capas anuales que nos permite establecer «calendarios» paleoclimáticos de resolución temporal muy alta. 📍



Sección de una estalagmita con capas de crecimiento anuales. Los cambios en la composición química de la estalagmita de año en año permiten reconstruir variaciones en la pluviosidad o la temperatura de la región donde está la cueva. La muestra corresponde a la Caverna de las Brujas (Mendoza, Argentina).

las idas y venidas de la trama. Ese hilo sería el *forzamiento climático*,² que establece la diferencia entre la energía solar que absorbe el sistema climático y la que emite hacia el espacio. El forzamiento es positivo cuando se absorbe más energía de la que se emite, lo que lógicamente implica un

² También denominado «forzamiento radiativo». Ambas se basan en la traducción (muy literal pero muy arraigada) de la palabra inglesa *forcing*.

calentamiento. Y es negativo cuando ocurre lo contrario, entonces se produce un enfriamiento. En el transcurso de la serie ese forzamiento estaría controlado por tres personajes protagonistas: el Sol, el albedo y el efecto invernadero.

El Sol es la fuente externa de energía del sistema climático. El exterior de la atmósfera recibe hoy radiación solar por valor de unos 1360 vatios por metro cuadrado (w/m^2). Este valor varía ligeramente a escalas de décadas a miles de años, dependiendo de su actividad electromagnética. Cuando el Sol es más activo, emite más radiación y llega más energía a la Tierra, lo que supone un forzamiento positivo. Pero no adelantemos acontecimientos. Volveremos a este forzamiento cuando sea necesario, en las épocas en las que pudo tener un papel principal.

El segundo protagonista sería el albedo (o reflectividad), que es la proporción de radiación solar que la Tierra refleja hacia el espacio. Dado que la reflexión es un proceso físico que no implica absorción, la energía reflejada simplemente no interviene en el sistema climático. El valor del albedo terrestre, que hoy se sitúa en torno al 30%, es el resultado de la suma de los albedos de todas las superficies que interceptan radiación solar, ya sean océanos, nubes, bosques, hielo glacial, praderas o desiertos. Algunas superficies, como la nieve, las nubes o los desiertos, son altamente reflectivas (tienen mucho albedo), mientras que otras, como los bosques o los océanos, lo son bastante menos. Como la superficie terrestre es cambiante, su albedo también lo es, lo que supone que haya forzamiento climático. Un incremento del albedo global

(por ejemplo, el inducido por la expansión del hielo glacial) determinará un forzamiento negativo (enfriamiento) y, por el contrario, una pérdida de albedo producirá un forzamiento positivo (calentamiento).

El tercer protagonista sería el efecto invernadero, definido por la capacidad de determinados gases atmosféricos de absorber parcialmente la radiación infrarroja (calor) que emite la superficie de la Tierra, lo que impide que se escape hacia el espacio. La concentración de esos gases en la atmósfera es realmente pequeña, pero su importancia en el clima es enorme: hace que la superficie terrestre esté, de promedio, unos 33 °C más caliente de lo que cabría esperar si se considera únicamente la radiación solar. Un incremento leve en esos gases supone que la atmósfera se haga más opaca a la radiación térmica y, por tanto, que una menor cantidad de radiación escape al espacio, es decir, se produce un forzamiento climático positivo (calentamiento).

El vapor de agua (H_2O) es el principal responsable del efecto invernadero en la Tierra, seguido a bastante distancia por el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4). Pese a ello, el vapor de agua no se considera un factor de forzamiento climático, ya que no existen emisiones puntuales o concentradas de este gas capaces de provocar una perturbación significativa en el balance energético. Su mayor o menor presencia en la atmósfera no viene determinada por emisiones, sino que depende de la temperatura del aire (véase el recuadro «Efecto invernadero y vapor de agua», en la pág. 18). Se considera, por tanto, un agente de potente realimentación climática y no un agente de forzamiento.

El dióxido de carbono y el metano tienen en común que están compuestos por carbono, y su mayor o menor presencia en la atmósfera debe ser entendida en el marco del ciclo global de este elemento. El ciclo del carbono se resume en un esquema que incluye los distintos reservorios de este elemento en la Tierra y los flujos que se producen entre ellos. Es fácil encontrar ilustraciones muy vistosas de este ciclo en internet o en los libros de texto, aunque en su mayor parte son incompletas, al menos desde la perspectiva del cambio climático. Esto ocurre porque se centran en la parte «superficial» del ciclo, que comprende la biosfera, la atmósfera, los océanos y los suelos como principales reservorios. Esos almacenes resultan minúsculos si los comparamos con la cantidad de carbono almacenado en las rocas sedimentarias de carbonatos (las calizas y dolomías) y en las rocas ricas en materia orgánica (carbón, petróleo, gas...) o el que existe en el manto. Debemos incluir estos almacenes si queremos tener una comprensión real de los cambios en el efecto invernadero.

La historia de nuestro planeta ha estado acompañada de un inexorable trasvase de carbono desde la superficie hacia el almacén que representan las rocas sedimentarias. Este proceso ha determinado que el dióxido de carbono no sea el gas dominante en nuestra atmósfera, como sí ocurre en Venus o Marte y que, por el contrario, sea realmente minoritario. Sin querer adelantar acontecimientos, es conveniente mencionar ya en este primer capítulo que, con la quema masiva de combustibles fósiles o la fabricación de cemento, estamos invirtiendo ese largo proceso de forma

muy apresurada: devolvemos a la atmósfera y los océanos lo que lentamente, durante cientos de millones de años, le fue retirado.

Además de los tres protagonistas (Sol, albedo y efecto invernadero) tenemos otro personaje fundamental en los cambios climáticos: se trata del reparto de la energía en el sistema climático, que viene definido esencialmente por tres aspectos: el primero es la «distribución» de la radiación solar incidente, determinada por la forma casi esférica de la Tierra y por los elementos de su órbita. Las zonas polares reciben mucha menos radiación solar que el ecuador, lo que genera un permanente desequilibrio energético latitudinal. Los elementos de la órbita terrestre determinan además variaciones periódicas en la radiación solar recibida por cada latitud. El ejemplo más evidente son las estaciones, provocadas por la inclinación del eje de rotación y el movimiento de traslación de la Tierra en torno al Sol. Menos conocidos son los efectos que producen en ese reparto de insolación los elementos orbitales de oblicuidad (cambios en la inclinación del eje de rotación), excentricidad (cambios en la forma elíptica de la órbita), y precesión («cabeceo» del eje de rotación). Estos efectos son mucho más lentos, con períodos de decenas de miles de años, pero tienen un papel notable en la historia del clima.

El segundo es la «capacidad de retención» de la energía por cada parte del planeta, que será diferente en función del albedo y la inercia térmica —capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente— regionales, y que genera fuertes gradientes

Efecto invernadero y vapor de agua

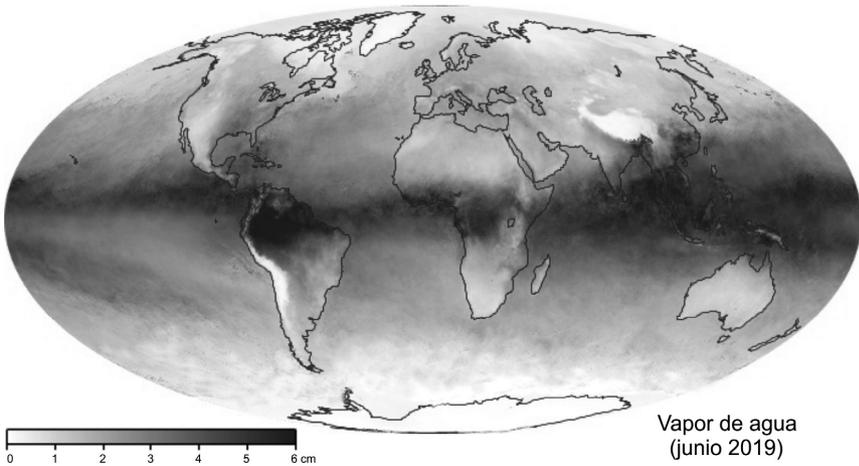
Si el vapor de agua es responsable del 70% del efecto invernadero terrestre,³ ¿por qué entonces no aparece en los debates sobre el cambio climático? Es un «olvido» solo aparente. Por su abundancia y disponibilidad en los océanos, la presencia de mayor o menor cantidad de vapor de agua en la atmósfera depende directamente de la temperatura. Si sube la temperatura global, la atmósfera se hace más húmeda y se incrementa el efecto invernadero. Es un ejemplo claro de realimentación en el sistema climático que se ha dado a lo largo de la historia del clima y que lógicamente sigue funcionando hoy. En la situación de cambio climático actual, un hipotético incremento de temperatura global de 1 °C inducido por el aumento del dióxido de carbono atmosférico provocaría un calentamiento de casi 2 °C adicionales, asociado al vapor de agua atmosférico.⁴ De forma inversa, una disminución de temperatura tendría una realimentación en sentido de un mayor enfriamiento asociado a la retirada neta de vapor de agua de

³ Kiehl y Trenberth (1997). *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 78, 197-208.

⁴ Held y Soden (2000). *Annu. Rev. Energy Environ.* 25, 441-475.

térmicos incluso entre zonas que reciben la misma radiación solar. Por ejemplo, el océano tiene un bajo albedo y una elevada inercia térmica, mientras que los desiertos continentales muestran un albedo más elevado y una bajísima inercia.

la atmósfera. Y la respuesta sería rápida, ya que el vapor precipita en forma de lluvia o nieve, un proceso inmediato en comparación con la lenta retirada neta de dióxido de carbono o de otros gases invernadero de la atmósfera, que conlleva siglos. ☉



La evaporación en los océanos es la principal fuente de vapor en la atmósfera. El mapa muestra el vapor en la atmósfera para junio de 2019. Las observaciones proceden del satélite Aqua de la NASA (FUENTE: <https://earthobservatory.nasa.gov>).

Y el tercero es el «transporte» de calor que se produce para compensar los desequilibrios en la distribución de la energía en el planeta. Tiene lugar en la circulación atmosférica y en el sistema global de corrientes oceánicas. A lo

largo de la historia climática, cambios geográficos y oceanográficos han determinado variaciones sustanciales en los mecanismos de transporte energético. A ellos volveremos en distintos puntos de este libro. Nos quedamos ahora con la idea de que la combinación entre la distribución de la radiación y su transporte define las grandes franjas climáticas del planeta, y que cualquier modificación en esa combinación determina cambios en ellas.

Estos personajes fundamentales y todo el elenco de secundarios construyen la historia del cambio climático. Los avatares de cada uno de ellos determinarán los forzamientos del clima, desencadenarán complejas interacciones y realimentaciones, y tendrán consecuencias dramáticas en el planeta. Además, como en cualquier buena historia televisiva, la trama de los cambios climáticos no es lineal, y esconde, para bien o para mal, numerosas sorpresas. Pero hay algo fundamental que diferencia la historia del cambio climático de una serie de televisión: mientras que la segunda es ficción, la primera es real y ha controlado la evolución de la Tierra, la vida y la humanidad, y lo seguirá haciendo en el futuro, aunque nos pese.

Forzamiento y sensibilidad

¿Cuánto cambiará el clima ante una perturbación en el equilibrio energético como la que se está produciendo actualmente? La respuesta no es sencilla ni directa, y menos si se pide un valor numérico de, por ejemplo, el incremento en la

temperatura global. Por ello existe el concepto de «sensibilidad climática» (*climate sensitivity*), referido a la respuesta del sistema climático a un forzamiento, y que usualmente se expresa como la variación de temperatura asociada a una duplicación de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Los modelos climáticos, que estiman esta sensibilidad a partir del forzamiento climático y las consiguientes realimentaciones, otorgan valores para la situación climática actual de entre 1,5 y 4,5 °C.⁵ Estos valores constituyen el pilar de las previsiones de cambio climático futuro y sientan las bases de las políticas para afrontar la amenaza. De cara a la sociedad, lo que se negocia en las cumbres internacionales sobre el cambio climático es el número de grados centígrados que puede calentarse el planeta en relación a la época preindustrial, con un riesgo asumible, es decir, sin permitir que este experimento a gran escala que es el cambio climático actual se nos escape de las manos. La solución política al problema es en realidad muy compleja, pero curiosamente se suele proyectar hacia la sociedad un planteamiento científico bastante simplificado, como si, tomando las medidas oportunas, fuera sencillo situar el termostato del planeta unas décimas de grado arriba o abajo.

Hay que buscar cambios climáticos en el pasado que nos ayuden a entender la situación actual. Podríamos pensar que esto introduce cierto ruido en la identificación y valoración del problema, pero no es así: en realidad nos da una visión mucho más real del clima y, en definitiva, del

⁵ Fuente: IPCC (2013), www.ipcc.ch

calentamiento actual y su evolución e impactos futuros. En los próximos capítulos veremos las situaciones de cambio climático más interesantes por las que ha pasado la Tierra o, al menos, aquellas que más nos enseñan sobre el cambio climático actual y sobre el reto que debemos afrontar en un futuro inmediato.

En primer lugar, viajaremos a los «hipertermiales», períodos singulares de calentamiento abrupto en el pasado remoto que tuvieron su origen en perturbaciones drásticas del ciclo del carbono (que podremos comparar con la actual) y que produjeron violentas alteraciones ambientales y extinciones. Luego nos moveremos en el tiempo para situarnos en el «mundo glacial» que ha dominado nuestro planeta los últimos cientos de miles de años, con la finalidad de analizar la sensibilidad climática en condiciones bastante más próximas a las de nuestra situación actual (aún hoy tenemos un volumen respetable de hielo en los polos). Y en tercer lugar nos centraremos en los últimos milenios, una época caracterizada por una singular estabilidad climática que ha permitido, y alentado, las civilizaciones del hombre moderno. En esa época, sin embargo, pequeños cambios en el clima pudieron determinar algunas de las crisis sociales que han modelado nuestra historia. Esos impactos hablan de nuestra vulnerabilidad incluso ante los cambios ambientales más sutiles. Casi sin darnos cuenta habremos llegado a nuestra época, de la que nos ocuparemos en la última parte del libro. Entonces será el momento de analizar el cambio climático actual, sus causas, sus impactos y lo que nos depara el futuro.

Entrar en el mundo paleoclimático requiere cierto esfuerzo por parte del lector. Se trata de retroceder en el tiempo y de analizar nuestro planeta con un enfoque distinto. Es un pequeño reto que creo que merece la pena afrontar antes de llegar a la parte final del libro: una pequeña oportunidad para entender el cambio climático desde una perspectiva científica diferente y más holística.