

Cristina Romera Castillo



antropOcéano

Cuidar los mares
para salvar la vida

CRISTINA ROMERA CASTILLO

ANTROPOCÉANO

CUIDAR LOS MARES PARA SALVAR LA VIDA


ESPASA

© Cristina Romera Castillo, 2022
© Editorial Planeta, S. A., 2022
Espasa es un sello de Editorial Planeta, S. A.
Avda. Diagonal, 662-664
08034 Barcelona
www.planetadelibros.com

Diseño e ilustración de la cubierta: Planeta Arte & Diseño
Fotografía de la autora (solapa): cortesía de la autora
Ilustraciones de interior: Jesús Sanz, a partir de © Shutterstock
Gráficos: © Jesús Sanz
Iconografía: Grupo Planeta

Preimpresión: Safekat, S. L.

ISBN: 978-84-670-6585-5
Depósito legal: B. 6.375-2022

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y siguientes del Código Penal).

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

Impreso en España / *Printed in Spain*
Impresión: Huertas, S. A.



El papel utilizado para la impresión de este libro está calificado como **papel ecológico** y procede de bosques gestionados de manera **sostenible**.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| ¿Qué me importa a mí el mar si soy de tierra adentro? | 13 |
| Thalassocentrismo | 16 |
| 1. CÓMO UN GRADO TE PUEDE CAMBIAR LA VIDA | 23 |
| La Pequeña Edad de Hielo | 24 |
| Cómo se produce un cambio climático natural | 26 |
| Cómo provocar un cambio climático antropogénico | 33 |
| ¿Se está haciendo algo para parar esto? | 39 |
| 2. PATITOS DE GOMA | 41 |
| Mensajes del pasado | 42 |
| Giros | 53 |
| El abrazo de las aguas | 55 |
| Océano 3D | 57 |
| 3. LA PIEZA DE LEGO | 63 |
| Cerveza y bomba de solubilidad | 68 |
| ¿Qué comen los de abajo? | 73 |
| 4. RAYUELA | 75 |
| 5. OCÉANO INFERNAL: ÁCIDO Y CALIENTE | 83 |
| Ácido | 83 |

ÍNDICE

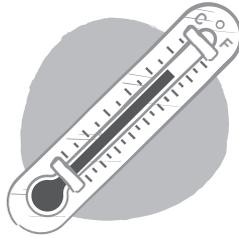
| | |
|---|-----|
| ¿Se me deshacen los oídos? | 87 |
| Caliente, caliente | 88 |
| La revolución sexual | 88 |
| Blanqueamiento del coral | 91 |
| Con el agua al cuello | 94 |
| 6. ZONAS MUERTAS | 97 |
| El río en el cielo | 97 |
| ¿De dónde viene el oxígeno que respiramos? | 100 |
| Zonas muertas | 103 |
| Zonas moribundas | 106 |
| Océano asfixiado | 110 |
| 7. LA CÁMARA IGNÍFUGA | 113 |
| Manglares, los árboles caminantes | 114 |
| Praderas submarinas | 116 |
| Marismas saladas | 120 |
| Acuicultura con algas | 121 |
| Oro azul | 122 |
| Carbono azul patrimonio de la humanidad | 126 |
| 8. QUÉ ALIMENTOS MARINOS SON MÁS SOSTENIBLES | 129 |
| El Niño | 129 |
| Alimentos del futuro | 132 |
| Lo que sucede en el mar se queda en el mar | 135 |
| Acuicultura | 137 |
| Pesca salvaje o acuicultura: ¿cuál es más sostenible? | 146 |
| Por países | 153 |
| Casos de cogestión pesquera | 156 |
| 9. CÓMO PESCAR MÁS SIN PESCAR | 159 |
| Pesca salvaje | 159 |
| Derrame de peces | 165 |
| La gran migración vertical | 170 |
| Beben y beben y vuelven a beber | 175 |
| Bosque animal | 176 |

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| 10. OCÉANO DE PLÁSTICO | 181 |
| El ermitaño de Camelle | 181 |
| Bolas de plástico explosivo | 183 |
| Iceberg de plástico | 186 |
| De dónde viene el plástico y a dónde va | 188 |
| Plástico en la salud humana | 190 |
| Reciclaje | 192 |
| Problemas del plástico biodegradable y otras alternativas | 194 |
| Soluciones al problema del plástico | 196 |
| 11. RUIDO DE FONDO | 201 |
| Padre, hijo y espíritu oceanográfico | 201 |
| La oceanografía puede cambiar la historia | 203 |
| Mundo ¿silencioso? | 206 |
| El despertar de Cthulhu | 211 |
| El invisible canal acústico submarino | 212 |
| El sonido de la revolución | 215 |
| 12. ERRORES MEDIOAMBIENTALES QUE SE HAN CORREGIDO ... | 219 |
| Primavera silenciosa | 219 |
| Corales de plomo | 222 |
| La primera revolución ecológica global | 224 |
| Delta del Mekong | 228 |
| 13. DESPERTAR | 231 |
| ¿Por qué nos cuesta tanto ponernos en marcha? | 232 |
| Desnaturalizados | 235 |
| BIBLIOGRAFÍA | 239 |
| AGRADECIMIENTOS | 253 |

1

CÓMO UN GRADO TE PUEDE CAMBIAR LA VIDA



Hace unos 2000 millones de años la Tierra primigenia estaba habitada por organismos microscópicos que vivían en el agua. Estos microorganismos fueron capaces de modificar la composición de la atmósfera de todo el planeta hasta llenarla con la suficiente cantidad de oxígeno necesario para la vida que hoy la habita. Tardaron millones de años en conseguirlo. Ahora, otro organismo ha logrado también modificar la atmósfera, pero esta vez, haciéndola menos habitable para la vida que hoy conocemos. Se trata del ser humano, que ha cambiado la composición de la atmósfera de toda la Tierra, aumentando su cantidad de CO_2 en un 43 %. Y solo ha tardado unos 270 años en hacerlo. Esto ha desencadenado el primer cambio climático provocado por la especie humana (antropogénico) en la historia de nuestro planeta.

La prueba de que el cambio climático está en marcha es que la temperatura media de la Tierra ha aumentado en 1°C en tan solo 140 años. Recalco que es 1° de media, lo que quiere decir que en algunos sitios habrá subido más que en otros. Un incremento de 1°C de temperatura puede parecer insignificante porque los cambios que se dan entre el día y la noche en una misma región son mayores que eso. Sin embargo, este pequeño cambio tiene muchas consecuencias a nivel global, para el medio ambiente y para nosotros. En el pasado, un descenso de la temperatura media global de solo 1°C provocó la «Pequeña Edad de Hielo»

que duró desde el siglo XIV hasta mediados del XIX. Veamos cómo esta bajada global de solo 1 °C afectó a la sociedad de la época.

LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO

Imaginemos a Velázquez caminando por las calles de Madrid en el siglo XVII, en pleno invierno, con su jubón, su capa y su sombrero. Un carro tirado por caballos le adelanta por su derecha y por su izquierda se cruza con una mujer vestida con un elegante vestido abombado cubierto de una capa de abrigo. Es fácil hacernos una idea por la información que tenemos de las películas ambientadas en esa época. ¿Pero se nos ocurre pensar qué tiempo hacía? Pues... seguramente, el mismo que haría ahora en Madrid en un día cualquiera de invierno, podemos pensar. En cambio, no es así, el clima no ha sido siempre igual, ni siquiera en un período tan corto como el que nos separa del siglo XVII. En esa época, Velázquez habría experimentado un frío más intenso en su rostro que un madrileño del siglo XXI porque vivió durante la Pequeña Edad de Hielo. Ese gélido período ha sido reflejado en numerosos cuadros de la época. Uno de ellos, *La nevada*, de Goya, pintado en 1786, muestra a cinco personas caminando por la nieve y resguardándose de una fuerte ventisca. Se ha interpretado como la representación de tres personas detenidas por un par de guardias cuando estas trataban de entrar en Madrid sin pagar impuestos de consumo. El cuadro transmite un frío tal que, según los expertos, denota que Goya había conocido lo que era experimentar una temperatura semejante. Hoy en día, tal nevada en Madrid sería algo inusual, aunque no imposible, según nos dejó claro Filomena en enero de 2021.

La Pequeña Edad de Hielo en Europa tuvo su período más frío durante el siglo XVII. Buena parte del viejo continente y del este de Norteamérica registraron temperaturas extremadamente bajas y muchos ríos europeos, incluido el Ebro, se congelaron. El Támesis lo hizo en varias ocasiones y hasta se llegaron a organizar ferias anuales sobre sus aguas heladas. Se formaron glaciares en

zonas tan meridionales como Sierra Nevada (Granada). Algunos glaciares descendieron de los Alpes destrozando cosechas y granjas y amenazando con arrasar pueblos enteros. Este descenso de las temperaturas de un solo grado cambió la vida de muchas sociedades. Se vieron inuits pescando en Escocia. Los vikingos, que en el siglo X habían colonizado Groenlandia, tuvieron que abandonarla porque el gélido clima convirtió su supervivencia en un infierno helado. El enfriamiento de las aguas del Atlántico Norte provocó la migración de bacalao hacia zonas más cálidas y se dejó de poder pescar en Groenlandia.

En España se creó una red de comercio de hielo que constituyó una importante fuente de ingresos, sujeta incluso a tributación, con un gremio de neveras. Se utilizaba para conservar alimentos, para bajar la fiebre y tratar otras dolencias o para hacer helados y enfriar bebidas. Aunque el negocio del hielo venía de mucho antes, pues ya los árabes y los romanos comerciaban con él, fue durante la Pequeña Edad de Hielo cuando tuvo lugar su punto álgido. En muchas comarcas de Levante, durante el invierno, los *nevaters* recogían nieve en sus capazos y la almacenaba en «neveros» o «cavas», unas construcciones circulares u octogonales cubiertas por una cúpula de mampostería. Muchas de estas neveras se situaban a menos de 800 metros sobre el nivel del mar. Durante el invierno, la nieve recogida se almacenaba allí, era pisada por los *pitjons* para compactarla y se cubría de paja para aislarla mejor. Si el pozo estaba bien hecho, la nieve podía durar hasta ocho años. Llegado el verano, se picaba para sacarla y se volvía a compactar para su venta en bloques de hielo por los municipios cercanos. El hielo se envolvía en mantas, se cubría de paja y se transportaba en animales de carga. Cada animal podía cargar unos 200 kilos, pero se podía perder hasta un 40 % en el camino. El trayecto se hacía de noche para evitar las horas de calor y en los meses estivales el precio del hielo subía insultantemente. En Alicante, se exportaba en barcos hasta las islas Baleares y el norte de África. Todavía se conservan los restos de estas neveras en muchas zonas de España. ¿Te imaginas ahora el comercio de hielo en Levante? Con las temperaturas

actuales no se podría almacenar en las cantidades que se hacía entonces.

El cambio de un solo grado en la temperatura media del planeta dio lugar a modificaciones importantes en el modo de vida y las costumbres de aquella época. Esto muestra la importancia que tiene el clima en nuestras vidas y el gran impacto que una aparentemente pequeña variación de la temperatura media puede tener en nuestra sociedad.

CÓMO SE PRODUCE UN CAMBIO CLIMÁTICO NATURAL

Cambios en la órbita terrestre

Más lento o más rápido, en el universo todo está en movimiento. Y si algo nos parece que está quieto es porque no lo hemos observado el tiempo suficiente. De esta forma, la Tierra está en un movimiento constante y esto provoca cambios en el clima que pueden ser cíclicos o puntuales. En su incesante movimiento alrededor del sol, la Tierra describe una órbita que no es inalterable, sino que va variando entre una forma casi circular y un abombamiento hasta casi formar una elipse. Esta alteración en la forma de la órbita se llama excentricidad y se repite con un período de entre 100 000 y 410 000 años haciendo que la Tierra reciba un poco más de radiación solar si es circular o un poco menos si es elíptica. Este abombamiento de la elipse se debe a la gravedad que ejercen Júpiter y Saturno, que según donde estén van a «tirar» más o menos de la Tierra hacia ellos.

Otro cambio en la cantidad de radiación solar que nos llega viene determinado por el eje de rotación de la Tierra con respecto a su plano orbital (oblicuidad), que puede ser más o menos inclinado. La variación en la inclinación del eje se repite cada 41 000 años. Por último, al rotar, el eje de rotación de la Tierra describe un giro alrededor de la perpendicular al plano de la órbita, describiendo un cono, similar al bamboleo de una peonza. Este movimiento se llama precesión y cambia cada 11 000 años.

Como la dirección del eje apunta al norte, esto hace que no siempre sea la Estrella Polar la que nos señala este punto cardinal. Hace 13 000 años lo hacía la estrella Vega en la constelación de Lira. Ahora la excentricidad y oblicuidad están en fase decreciente. Pero todavía faltan miles de años para que lleguen a su punto más bajo y den lugar a un aumento de temperaturas por su causa.

Estos tres cambios en los movimientos de la órbita terrestre se llaman ciclos de Milankovitch, en honor al matemático serbio que, a principios del siglo XX, propuso, por primera vez, que estas variaciones influían en la cantidad de radiación solar que nos llega y, por tanto, en el clima de la Tierra. La diferencia en la radiación que llega a nuestro planeta es, en realidad, muy pequeña, pero es el detonante de una serie de procesos en cadena que amplifican el cambio hacia un período más frío (glaciación) o más cálido (interglacial). Se ha visto que, al menos en los últimos 800 000 años, ha tenido lugar un período interglacial cada 100 000 años aproximadamente, coincidiendo con el ciclo de excentricidad. Podemos considerarnos muy afortunados porque ahora mismo estamos en uno de ellos.

Hace unos 26 000 años, en pleno apogeo de la última glaciación, la temperatura global del planeta solo era 4-6 °C más baja que ahora. Pero aun así había hasta tres veces más hielo y el nivel del mar estaba 120 metros por debajo del actual. Quedaron al descubierto buena parte de las plataformas continentales, que son los fondos sumergidos más cercanos a la costa. Se podía ir caminando desde Indonesia a Asia y desde Rusia a Alaska.

Pero se ha visto que los cambios en la radiación solar debidos a las variaciones orbitales no son suficientes para provocar un cambio climático a la escala de los que la Tierra sufre periódicamente. La radiación es solo el detonante, que provoca alteraciones en otras características de la Tierra que hacen que se caliente o se enfríe. Los otros procesos principales que al activarse amplifican el cambio del clima son el albedo y los gases de efecto invernadero. Y, además de estos, están los volcanes, que, aunque menos relevantes que los otros dos, también tienen su papel en la modificación del clima.

Albedo

Cuando caminas por la nieve o el desierto sueles notar mucha molestia en los ojos por el sol que se refleja en ellas. La fracción de radiación que una superficie refleja de toda la que le llega se llama albedo. La nieve y la arena del desierto tienen un albedo alto porque reflejan mucha radiación. Ese reflejo no llega solo a tus ojos, sino que es capaz de alcanzar el espacio. La proporción de radiación solar que la Tierra refleja al espacio gracias a todas estas superficies «reflectantes» se llama albedo terrestre.

En la actualidad, aproximadamente un 38 % de toda la radiación que llega a la Tierra se refleja al espacio exterior. Y esto no solo ocurre debido a la nieve y la arena, también se produce por las partículas en suspensión que hay en la atmósfera, aunque el reflejo de la luz en estas no nos moleste a los ojos. Cuantas más superficies reflectantes haya, el albedo será mayor y contribuirá al enfriamiento de la Tierra. En épocas glaciales en las que la extensión de hielo en el planeta era mayor que ahora, el albedo terrestre era más alto y contribuía a que se enfriara más la Tierra porque la superficie que más albedo tiene es la nieve y el hielo (un 80 %). Sin embargo, el mar, al ser oscuro, refleja mucho menos la radiación y solo tiene un 6 %, por lo que absorbe el resto del calor de la luz del sol. Así que, si se derrite el hielo del Ártico dejando a la vista el océano, disminuye el albedo y, por tanto, se absorbe más calor que lleva a más calentamiento. Esto provoca más derretimiento del hielo que deja al descubierto más parte de océano, y así se crea un ciclo de retroalimentación. La quema de combustibles fósiles y los incendios generan partículas en suspensión de carbón negro (hollín), que viajan por todo el globo y acaban depositándose sobre la nieve y el hielo, oscureciéndolo y reduciendo su albedo. Se calcula que, a final de siglo, estas partículas serán las causantes de una disminución del 10 % del albedo de nuestro planeta.

Gases de efecto invernadero

En la atmósfera existen de forma natural varios gases de efecto invernadero. Algunos de ellos contienen átomos de carbono (dióxido de carbono y metano) y otros no, como el vapor de agua, el ozono y el óxido nitroso (gas de la risa). Todos ellos tienen la propiedad de absorber el calor (en forma de radiación térmica) que emite la superficie de la Tierra tras rebotar en ella procedente del sol y así evitan que ese calor se escape al espacio. Parte de esta radiación queda en la superficie del planeta y en la atmósfera inferior aumentando la temperatura superficial de la Tierra. Gracias a esto, su temperatura media es de 15 °C y no de -18 °C, que sería el caso si no hubiera gases de efecto invernadero. Por lo tanto, son necesarios y beneficiosos para nosotros, siempre que se mantengan dentro de los niveles adecuados.

De todos los gases que emitimos y que en la actualidad están potenciando el efecto invernadero en la tierra, el CO_2 es el más importante porque es el que se produce en mayor cantidad y el que más impacto tiene en el calentamiento global. El resto de los gases de efecto invernadero que más se emiten tienen un periodo de vida más corto y permanecen menos tiempo en la atmósfera. Para comparar qué gas tiene un efecto invernadero más potente se toma como referencia el CO_2 , que se considera que tiene un potencial de 1. El metano es 28 veces más potente y su equivalencia se expresa como 28 CO_2 eq. Por suerte, el metano perdura menos en la atmósfera que el CO_2 .

Los gases de efecto invernadero se producen de forma natural en la naturaleza, por ejemplo, por emisiones volcánicas o respiración (todos los organismos, al respirar, generan CO_2). Es la misma naturaleza la que se encarga de capturarlos y retirarlos de la atmósfera dejando las cantidades justas para mantener las temperaturas que tenemos, alcanzado así un equilibrio en el planeta. Pero desde que han aumentado las emisiones de CO_2 por causas antropogénicas, la naturaleza ya no se basta para salvaguardar el equilibrio y este se ha roto.

La naturaleza retira el CO_2 de la atmósfera gracias a los «sumideros de carbono», que son mecanismos que eliminan de la atmósfera los gases de efecto invernadero o los compuestos, que, tras una reacción, dan lugar a dichos gases. Estos sumideros son los océanos, el suelo y los bosques, que retiran CO_2 y almacenan su carbono durante períodos que varían desde decenas a miles de años. Pero no lo acumulan necesariamente como CO_2 ; lo pueden almacenar después de que el carbono haya pasado a formar parte de una molécula de otro tipo mediante alguna reacción química (veremos esto en más detalle en el capítulo 3). Lo importante es que es un carbono que ya no volverá a la atmósfera en forma de CO_2 en mucho tiempo.

El océano es uno de los principales sumideros de carbono que tiene la naturaleza. De los gases de efecto invernadero emitidos hasta el momento, el océano ha absorbido un tercio, otro tercio lo ha captado la tierra (bosques y suelos) y el tercio restante se ha quedado vagando por la atmósfera recalentando la superficie del planeta. El CO_2 puede entrar en el océano porque es soluble en agua y esta solubilidad depende de la temperatura. Cuanto más fría es el agua, mayor es la solubilidad del CO_2 en ella, es decir, más CO_2 captará el océano. Por eso, si el océano se calienta, captará menos CO_2 que quedará en la atmósfera y contribuirá a calentar el planeta aún más. De nuevo, calentamiento lleva a más calentamiento.

Volcanes

Los volcanes pueden provocar también cambios en el clima si la erupción es muy potente. Al final de la Pequeña Edad de Hielo, el 10 de abril de 1815, dos meses antes de la caída del imperio napoleónico en Waterloo, tuvo lugar la erupción volcánica más potente de la historia desde que existen registros. En la isla indonesia de Sumbawa, el volcán Tambora de 4 300 metros de altura explotó en una colosal erupción que lo redujo un tercio y ahora tiene 2 850 metros. La explosión pudo escucharse a 2 600 kilómetros de distancia. Un pescador de Camboya pudo haber oído el estruendo y haber

muerto de viejo al cabo de los años sin haber llegado a saber nunca a qué se debió. La erupción fue mil veces más potente que la del impronunciable volcán Eyjafjallajökull en Islandia, que en 2010 provocó la interrupción del tráfico aéreo en Europa. Mientras escribo esto, el volcán Cumbre Vieja de La Palma en las islas Canarias sigue en erupción vomitando lava sin parar. A pesar de todos los problemas que está causando a la población, esta erupción ha sido mucho menor, con una magnitud 2 del índice de explosividad volcánica (VEI), que la del volcán islandés (VEI 4) y que la del Tambora (VEI 7).

La erupción del Tambora generó una nube tan densa que ensombreció el cielo durante tres días hasta una distancia de 300 kilómetros. Murieron, al menos, 80 000 personas. Millones de toneladas de gases de azufre llegaron hasta la estratosfera donde, debido a los vientos, se expandieron por todo el planeta. La lógica haría pensar que la erupción de magma caliente de un volcán junto a la emisión de gases de efecto invernadero causaría, si acaso, un aumento de temperatura. Pero no suele ser así. Los gases de azufre en la atmósfera forman núcleos de condensación que reflejan la radiación solar (tienen alto albedo) impidiendo que llegue a la Tierra y provocando una disminución de las temperaturas. La erupción del Tambora provocó un descenso de la temperatura del planeta de entre 1 y 2 °C. Al año siguiente se le llamó «año sin verano» y los efectos en el clima duraron hasta tres años. Se perdieron cosechas, y la hambruna y la enfermedad se cebaron con la población, no solo en Asia, sino también en Europa y Norteamérica. En Europa, además, las miserias se sumaron a las dejadas por las guerras napoleónicas, lo que agravó más la difícil situación social.

Debido a la escasez por las malas cosechas, en 1817 el precio del grano se puso por las nubes, y alimentar a los caballos que se usaban como medio de transporte se convirtió en un lujo prohibitivo. Para solventar el problema de transporte, el barón alemán Karl Drais ideó un artilugio con dos ruedas, sin pedales y sin frenos, que se impulsaba con los pies. Había nacido el primer prototipo de bicicleta. De toda crisis sale algún beneficio y bene-

ficiado. Pero no fue solo el barón Drais y los usuarios de la bicicleta quienes sacaron provecho de los efectos del lejano Tambora, sino también la cultura. En la Navidad de 1816, el órgano de la iglesia de San Nicolás del pueblo austriaco de Oberndorf había quedado inutilizado por las bajas temperaturas. El párroco, Joseph Mohr, escribió una canción navideña y pidió a un amigo que le pusiera música que no necesitara acompañamiento para ser cantada por un coro. Así nació el villancico más famoso de la historia, *Stille Nacht (Noche de paz)*, que hoy en día es incluso patrimonio de la humanidad de la Unesco. Y otra obra que vio la luz gracias a la erupción del Tambora es la novela más famosa de Mary Shelley, *Frankenstein*, escrita en el verano de 1816 en el que no pudo salir de su casa de vacaciones en Suiza debido al mal tiempo de ese año sin verano. Y sin irnos tan lejos en el tiempo, en 1991 entró en erupción el volcán Pinatubo, en Filipinas, dando lugar a la mayor erupción del siglo XX que bajó la temperatura media global en 0,5 °C.

Precisamente, fue la actividad volcánica la que parece que dio lugar a la Pequeña Edad de Hielo, ya que, desde el comienzo de esta, se registraron varias erupciones importantes de forma consecutiva. Aunque las consecuencias de la actividad volcánica no deberían haber durado tanto, al haber varias en ese intervalo de tiempo, causaron un aumento en la formación de hielo y cambios en las corrientes marinas que hicieron que las bajas temperaturas duraran lo suficiente como para encadenar con la siguiente erupción que volvió a activar el mismo mecanismo. La intensificación de la Pequeña Edad de Hielo también se vio favorecida por un período en el que disminuyó la actividad solar.

Así que el clima suele cambiar de forma natural debido a todos los factores citados anteriormente. Se podría decir que la alteración en la radiación solar que llega a la Tierra es un interruptor que enciende otros procesos que, a su vez, amplifican el calentamiento o el enfriamiento. Un calentamiento despierta procesos que llevan a más calentamiento y un enfriamiento enciende otros que conducen a más enfriamiento aún. Pero en el caso del calentamiento actual, no podemos echar la culpa al sol ni a los ciclos de

Milanković, porque no cuadra. Tampoco a los volcanes. La quema de combustibles fósiles y la plaga en que se ha convertido el ser humano están dando lugar a la alteración de esos factores. En este caso, el detonante no es la órbita solar, sino la emisión de gases de efecto invernadero que se han convertido en el interruptor que está accionando la reducción del albedo y poniendo en marcha una reacción en cadena en la que más calor lleva a más calor. Los cambios del clima que normalmente se veían a una escala geológica los estamos apreciando en el tiempo de una vida humana. Pero, a pesar de eso, no conseguimos reaccionar para ponerles remedio.

CÓMO PROVOCAR UN CAMBIO CLIMÁTICO ANTROPOGÉNICO

El equilibrio que mantiene la naturaleza como la conocemos es muy frágil y se rompe con facilidad. Cuando los gases de efecto invernadero aumentan o disminuyen mucho, se rompe el equilibrio. Si la cantidad de estos aumenta demasiado, la Tierra se calentará, pero si disminuyen demasiado, se enfriará. Como hemos visto, estas situaciones ya se han dado en otras épocas a lo largo de la historia de nuestro planeta, que ha oscilado entre periodos glaciales y no glaciales. Pero los cambios de un período a otro han tardado millones de años.

Sin embargo, desde la Revolución Industrial en 1750 hasta nuestros días, la concentración de CO_2 en la atmósfera ha aumentado un 48 %. Este rápido incremento se debe fundamentalmente a acciones humanas, como son la quema de combustibles fósiles, la producción de cemento y el cambio en el uso del suelo. Este último se refiere a la deforestación y a la transformación de zonas naturales en campos para producir alimentos, piensos y madera, que traen como consecuencia la emisión de CO_2 por la quema de material vegetal o de la descomposición de plantas muertas y suelo. Por ejemplo, cuando se tala un bosque para poder cultivar, el material vegetal se quema o se deja degradar en el suelo y ambas cosas producen CO_2 . Y el bosque, que captaba CO_2 , ya no lo hará porque se habrá eliminado.

Fue en 1958 cuando un químico estadounidense, Charles David Keeling, comenzó a medir muestras de CO_2 en la atmósfera desde un observatorio situado en Mauna Loa (Hawái) y se dio cuenta de que su concentración estaba aumentando rápidamente de un año para otro. Lo mostró en un gráfico que se ha hecho muy famoso, la «curva de Keeling» (figura 1). También observó algo muy interesante: que los niveles de CO_2 variaban estacionalmente. En primavera-verano eran más bajos porque las plantas en crecimiento retiraban más CO_2 al hacer la fotosíntesis, mientras que en invierno aumentaban porque las plantas morían o perdían sus hojas y tomaban menos CO_2 . Aunque este ciclo se da así en el hemisferio norte, es el que domina en todo el planeta, ya que es en el hemisferio boreal donde se encuentra la mayor parte de vegetación terrestre de la Tierra por tener mayor superficie emergida que el hemisferio sur.

Gracias al hielo de la Antártida, es posible asimismo saber los niveles de CO_2 que había en la atmósfera mucho antes de que Keeling comenzara a medirlos. Cuando el hielo se forma, quedan atrapadas muchas burbujitas que contienen el CO_2 que había en la atmósfera justo en ese momento. Esto ha dejado un registro que nos ha permitido conocer los niveles de CO_2 que ha habido en la atmósfera desde hace 800 000 años hasta hoy, incluyendo épocas glaciales e interglaciales. Y otros estudios recientes han llegado a determinar los niveles de CO_2 de hace dos millones de años. En esos registros se observan valores bajos de CO_2 , de unas 180 ppm, en las frías épocas glaciales, y valores altos de unas 280 ppm, en las épocas más cálidas, las interglaciales. Antes de que comenzara la era industrial, la concentración de CO_2 en la atmósfera se mantuvo entre esos valores durante 2,1 millones de años y nunca se habían dado, de forma natural, los valores de 415 ppm que tenemos ahora a comienzos de 2022.

Un 68 % de las emisiones de CO_2 son debidas a la quema de combustibles fósiles y a la producción de cemento y el 32 % restante proceden de los cambios en el uso de la tierra (deforestación, agricultura...). Más de la mitad de todo el carbono emitido ha sido absorbido por los océanos y los ecosistemas terrestres. Y

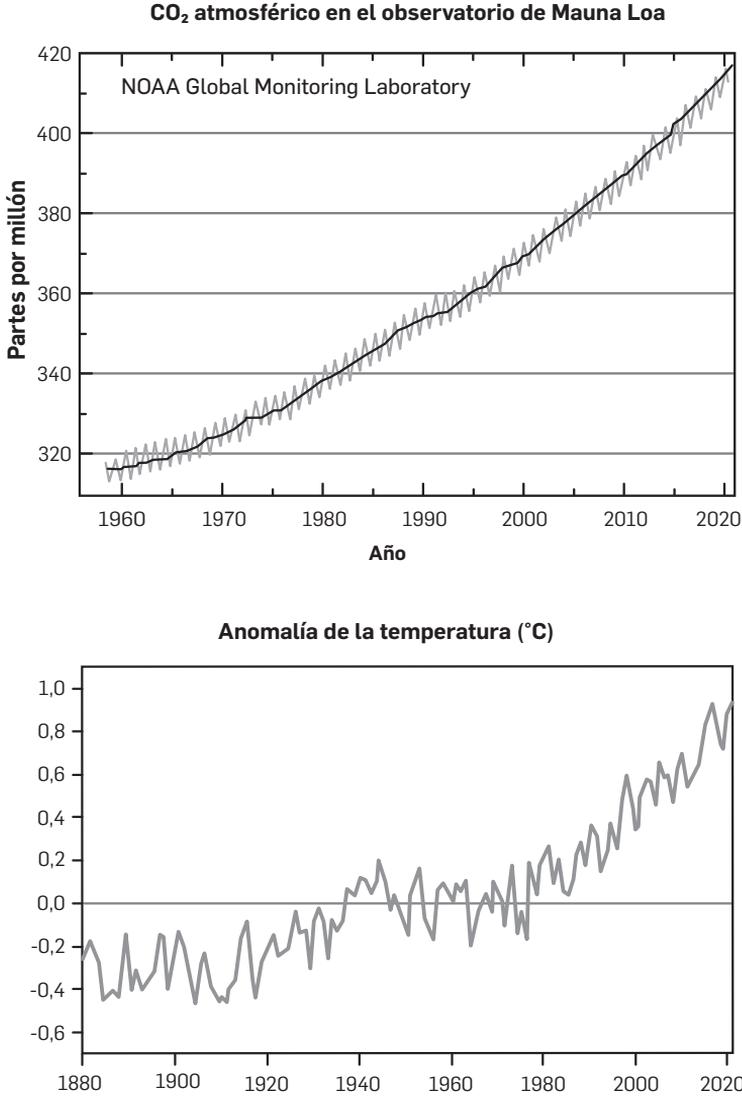


Figura 1. Arriba, concentración de CO₂ en partes por millón (ppm) desde 1958 hasta 2020. La línea negra es la variación media mientras que la gris muestra los picos máximos del invierno y los mínimos del verano. Abajo, anomalía media de la temperatura desde 1880 hasta 2020. Esta anomalía es lo que varía la temperatura cada año con respecto a los valores medios entre 1951 y 1980 (línea horizontal). Se observa que desde 1970 ha habido un incremento de 1 °C. (Fuente: NOAA).

el resto, unos 240 petagramos de carbono (PgC), se ha acumulado en la atmósfera. El mecanismo que tiene la naturaleza para eliminar ese exceso de CO₂ es muy lento. Aunque dejáramos de emitir CO₂ ahora mismo, entre un 15 y un 40 % del que ya hemos emitido desde 1750 quedará en la atmósfera durante más de 1 000 años. Es decir que, a una escala de vida humana, el cambio climático sería irreversible debido al largo tiempo que la naturaleza necesita para eliminar el exceso de CO₂ de la atmósfera. Pero no todo está perdido, porque, aunque queden esas cantidades en la atmósfera, las consecuencias no serán tan graves como si seguimos emitiendo en la misma medida en que lo hemos hecho hasta ahora. Es decir, que el cambio climático ya está en marcha, pero en nuestra mano está decidir la magnitud a la que estamos dispuestos a permitir que llegue. Si queremos unas consecuencias leves o más graves.

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) es una organización intergubernamental de las Naciones Unidas compuesta por científicos y expertos que llevan más de 30 años evaluando la situación climática del planeta basándose en estudios científicos. Emiten informes periódicos explicando la situación actualizada y donde dan recomendaciones de actuación. Es la fuente más fiable en cuanto a datos sobre el cambio climático porque recopila los principales estudios científicos realizados hasta la fecha. Muchas decisiones gubernamentales relacionadas con el cambio climático se toman en base a esos informes. Y yo también he recurrido a esa fuente para escribir este libro.

Según dichos informes, la rapidez a la que se va calentando la Tierra ha ido aumentando. Desde 1975, la temperatura media del planeta se está incrementando en 0,2 °C por decenio. En los últimos 2 000 años no se han encontrado evidencias de un cambio de temperatura global sincrónico, que ocurriera al mismo tiempo en todo el globo, hasta ahora. Las variaciones que hubo, como durante la Pequeña Edad de Hielo o el Período Cálido Medieval, se produjeron localmente o en períodos distintos según la zona geográfica. Por ejemplo, la Pequeña Edad de Hielo tuvo su

período más frío en el siglo XV en el Pacífico central y oriental, en el siglo XVII en Europa noroccidental y en la zona sureste de Norteamérica y durante la mitad del siglo XIX en el resto de las regiones. Sin embargo, esta es la primera vez que se observa un cambio de temperatura a la vez en todo el planeta. Pero, aunque sea sincrónico, no quiere decir que sea uniforme en todas las zonas del mundo. Por ejemplo, es mayor en la tierra que en el océano. Y en el Ártico, la temperatura es hasta tres veces más alta que la media del planeta.

La cantidad de CO_2 en la atmósfera depende de cuánto se emita, pero también de las alteraciones en el clima. La concentración de CO_2 afecta al clima y este, a su vez, afecta a la concentración de CO_2 en la atmósfera, en un ciclo de retroalimentación. Para poder conocer qué pasará en el futuro, los científicos hacen modelos de predicción, que son simulaciones basadas en algoritmos matemáticos, de posibles escenarios futuros, utilizando datos del pasado y presente. Se puede preguntar al modelo qué pasará si seguimos emitiendo CO_2 al ritmo que lo hacemos, si dejamos de emitir ahora mismo o si reducimos las emisiones en un tanto por ciento.

Según estos modelos, el aumento de la temperatura disminuirá el secuestro de carbono en las zonas tropicales (cercanas al ecuador). En cambio, a altas latitudes (cerca de los polos), el secuestro se intensificaría debido a que la época de crecimiento de las plantas sería más larga, y las temperaturas más altas harían crecer vegetación que antes no lo hacía por ser un clima más frío. El secuestro de carbono es cuando ese gas queda atrapado sin que pueda volver a la atmósfera en un periodo muy largo de tiempo. Como cuando lo atrapan los bosques o los océanos. Lo analizaremos en detalle en el capítulo 3. La predicción hecha sobre el carbono que podría secuestrarse en altas latitudes no es tan precisa todavía porque no se ha tenido en cuenta la liberación de carbono que se produciría por el derretimiento del permafrost.

El permafrost es una capa de suelo permanentemente congelada de las zonas cercanas a los polos que ocupa el 22 % de la

superficie terrestre. Contiene carbono atrapado en forma de CO_2 y metano que, al derretirse, se liberaría a la atmósfera agravando el problema. Otro sitio donde hay atrapado metano es en los fondos marinos. Allí, el metano está rodeado de moléculas de agua que forman una cápsula en cuyo interior se encuentra el gas. Estas cápsulas son los hidratos de metano. Su aspecto es como el del hielo, pero arde cuando se quema. Solo está en esa forma a bajas temperaturas y alta presión, como las que se dan en el suelo marino a más de 300 metros de profundidad. Esa reserva de metano es mayor que la de todos los combustibles fósiles y se están estudiando formas de extraerlo para utilizarlo como recurso energético. Cuando este gas se libera porque cambian las condiciones de presión y temperatura que lo tienen aprisionado, sube a superficie y disminuye la densidad del agua, como sucede cuando abres una botella de gaseosa, y los barcos pierden flotabilidad. Esta es una de las explicaciones que se ha propuesto para las misteriosas desapariciones de buques en el Triángulo de las Bermudas. Con el cambio climático, al calentarse las aguas del océano, los hidratos pierden estabilidad y empiezan a «derretirse» liberando el metano que sube a superficie y puede pasar a la atmósfera. Y como hemos dicho antes, este gas tiene un efecto invernadero 28 veces más potente que el CO_2 . Así que su liberación daría lugar a más calentamiento.

Hemos visto algunos cambios en el modo de vida que provocó el descenso de 1°C durante la Pequeña Edad de Hielo. Estos fueron muy llevaderos en comparación con los que nos esperan si la temperatura sigue subiendo. El aumento de 1°C que estamos experimentando ahora ya está ocasionando el desplazamiento de personas porque sus lugares de origen se han vuelto inhóspitos. La subida del nivel del mar, que puede originar la desaparición de localidades costeras, y la mayor frecuencia de fenómenos atmosféricos extremos (olas de calor, huracanes, ciclones, lluvias torrenciales...) darán lugar a más desplazamientos de personas y modificaciones en el modo de vida.

También se empieza a ver afectada la agricultura. Cada vez se observan más zonas desérticas y los agricultores ya notan el ade-

lanto de la floración y cosecha de muchas especies. Esto ya sucede con la uva y se está hablando de cultivar las viñas en zonas más altas e incluso se comienza a plantear un cambio a variedades de uva que aguanten mejor el calor. Es decir, que dentro de poco quizá no puedas disfrutar del vino que más te gusta. Hay que recordar que la intensidad de estos escenarios será mayor si no hacemos nada ahora. Estamos a tiempo de modificar estas previsiones, pero hay que hacerlo ya. Y para paliar los efectos del cambio climático, el mar puede ser un gran aliado, como veremos a lo largo de este libro.

¿SE ESTÁ HACIENDO ALGO PARA PARAR ESTO?

En relación al problema del cambio climático estamos todos en el mismo barco. De poco sirve que unos países empiecen a tomar medidas si hay otros que no lo hacen, porque todos estamos conectados por la atmósfera y los océanos. En diciembre de 2015 se negoció el Acuerdo de París durante la XXIª edición de la Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático. El aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera desde la época preindustrial hasta nuestros días está produciendo un calentamiento que se asume que seguirá aumentando en los próximos años. Lo que se han propuesto los países en el Acuerdo de París no es ni siquiera pararlo en el punto en que está ahora, sino que ese aumento no sea de más de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales y hacer todos los esfuerzos posibles para ir más allá incluso, y que el calentamiento no sea de más de 1,5 °C.

Se han hecho modelos de predicción simulando dos posibles escenarios de incremento de temperatura con respecto a la época preindustrial para ver qué efectos provocarían en el planeta. Estos escenarios son: 1) que el aumento de temperatura no pase de 1,5 °C; y 2) que no supere los 2 °C. Obviamente, si se da el segundo escenario, las consecuencias serán mucho más graves que si se da el primero. Pero conseguir el objetivo del Acuerdo

de París no es nada fácil y se requiere el compromiso de todos los países, porque el CO₂ que se libera no entiende de fronteras y se expande por todo el globo. Y hay que tener en cuenta que ya llevamos un aumento de 1 °C con respecto al período preindustrial, así que solo nos queda un margen de entre 0,5 °C y 1 °C del que no podemos pasarnos para cumplir este acuerdo.

Para que el acuerdo entrara en vigor se necesitaba que fuera ratificado al menos por 55 partes que sumaran el 55 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Esto se cumplió en noviembre de 2016 cuando 97 partes (96 países + la UE) habían firmado el acuerdo. Hoy en día son 195 los países firmantes, entre los que se encuentran la Unión Europea, Estados Unidos, China e India, que están entre los países con más emisiones. Una buena noticia es que, en 2017, la Unión Europea ha conseguido reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 22 % con respecto a los niveles de 1990. De esta forma, está cerca de lograr el compromiso que se propuso de reducir las emisiones un 40 % para 2030 en relación con los niveles de 1990. Sin embargo, esta reducción no ha sido precisamente gracias a España, que en 2017 registró un aumento del 22 % en comparación con los niveles de 1990, solo detrás de Chipre (56 %) y Portugal (23 %). Pero, aunque hayan aumentado sus emisiones, estos países no son los que más producen dentro de la UE. En 2017, las mayores emisiones las tenía Alemania, con un quinto de todas las generadas en Europa, seguida de Reino Unido y Francia.

El océano es una de las víctimas del cambio climático antropogénico, pero también puede ser una solución porque podría contribuir en un 21 % a la mitigación necesaria para mantener la temperatura por debajo de 1,5 °C para 2050. Para esto necesita de nuestra ayuda y, al mismo tiempo, podríamos rectificar mucho del daño que hemos provocado. Para ver de qué formas podría conseguirse, veamos primero algunos aspectos básicos de cómo funciona el océano.