LEWIS DARTNELL

ORÍGENES

CÓMO LA HISTORIA DE LA TIERRA DETERMINA LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD

DEBATE

Orígenes

Cómo la historia de la Tierra
determina la historia de la humanidad

Lewis Dartnell

Traducción de
Joandomènec Ros

DEBATE

SÍGUENOS EN

megustaleer

@Poramoralaciencia

@amoralaciencia

@megustaleer

Penguin Random House Grupo Editorial

Introducción

¿Por qué el mundo es como es?

No digo esto a modo de meditación filosófica (¿por qué estamos todos aquí?), sino en un profundo sentido científico: ¿cuáles son las razones que hay detrás de los rasgos principales del mundo, el paisaje físico de continentes y océanos, montañas y desiertos? ¿Y cómo el terreno y las actividades de nuestro planeta, y más allá de estas nuestro entorno cósmico, han afectado a la aparición y el desarrollo de nuestra especie y a la historia de nuestras sociedades y civilizaciones? ¿De qué maneras la propia Tierra ha sido la protagonista a la hora de modelar el relato humano, un personaje con rasgos faciales distintivos, un humor variable y propenso a ocasionales arrebatos de mal genio?

Quiero analizar cómo la Tierra nos hizo. Desde luego, cada uno de nosotros está hecho literalmente de ella, como toda la vida del planeta. El agua de nuestro cuerpo fluyó una vez Nilo abajo, cayó como lluvia monzónica sobre India y se arremolinó alrededor del Pacífico. El carbono presente en las moléculas orgánicas de nuestras células fue extraído de la atmósfera por las plantas que comemos. La sal en nuestro sudor y nuestras lágrimas, el calcio en nuestros huesos y el hierro en nuestra sangre surgieron por erosión de las rocas de la corteza terrestre, y el azufre de las moléculas de proteína presente en nuestro pelo y nuestros músculos fue expulsado por los volcanes.[1] La Tierra también nos ha proporcionado las materias primas que hemos extraído, refinado y ensamblado para generar nuestras herramientas y tecnologías, desde las hachas de mano elaboradas toscamente de la primera Edad de Piedra hasta los ordenadores y móviles de hoy en día.

Fueron las fuerzas geológicas activas de nuestro planeta las que impulsaron

nuestra evolución en África oriental como una especie de simio singularmente inteligente, comunicativo y habilidoso,(1) mientras que un clima planetario fluctuante nos permitió migrar por el mundo para convertirnos en la especie animal más ampliamente extendida de la Tierra. Otros procesos y acontecimientos a gran escala crearon los diferentes paisajes y regiones climáticas que han dirigido la aparición y el desarrollo de civilizaciones a lo largo de la historia. Estas influencias planetarias sobre el relato humano van desde las que parecen triviales hasta las más profundas. Veremos cómo un periodo de frío y sequía continuados en el clima de la Tierra es la razón de que la mayoría de nosotros comamos en el desayuno una tostada de pan o un cuenco de cereales; cómo la colisión de los continentes creó el Mediterráneo como un caldero burbujeante con diversas culturas, y cómo las bandas climáticas opuestas de Eurasia promovieron sistemas de vida fundamentalmente contrapuestos que modelaron durante milenios la historia de pueblos de todo el continente.

Nos preocupa cada vez más el impacto de la humanidad sobre el ambiente natural. En el transcurso del tiempo nuestra población se ha disparado, ha consumido cada vez más recursos materiales y ha conseguido fuentes de energía con una competencia cada vez mayor. Ahora *Homo sapiens* ha acabado por sustituir a la naturaleza como la fuerza ambiental dominante en la Tierra. La construcción de ciudades y carreteras, el represamiento de ríos y la actividad industrial y minera tienen un efecto profundo y duradero, que remodela el paisaje, cambia el clima global y causa extinciones generalizadas. Los científicos han propuesto dar nombre a una nueva época geológica que dé cuenta de este predominio de nuestra influencia sobre los procesos naturales del planeta: el Antropoceno, la «era reciente de la humanidad».[2] Pero como especie todavía estamos inextricablemente unidos a nuestro planeta, y la historia de la Tierra está grabada en nuestra constitución, de la misma manera que nuestras actividades han dejado sus marcas distintivas en el mundo natural. Para comprender de verdad nuestro relato hemos de examinar la biografía de la Tierra: las características de su paisaje y del entramado subyacente, la circulación

atmosférica y las regiones climáticas, la tectónica de placas y los antiguos episodios de cambio climático. En esta obra analizaremos qué es lo que nuestro entorno nos ha hecho a nosotros.

En mi libro anterior, *Abrir en caso de apocalipsis*,[3] me propuse resolver un experimento mental: quería descubrir cómo podríamos reiniciar la civilización desde cero después de un hipotético apocalipsis. Utilicé la idea de la pérdida de todo lo que damos por sentado en nuestra vida cotidiana para estudiar cómo nuestra civilización opera entre bastidores. El libro era esencialmente una investigación de los descubrimientos científicos y las innovaciones tecnológicas clave que nos permitieron construir el mundo moderno. Lo que pretendo hacer esta vez es ampliar la perspectiva, no solo explorar el ingenio humano que nos llevó hasta donde nos encontramos en la actualidad, sino seguir los hilos de la explicación remontándonos todavía más hacia atrás en el tiempo. Las raíces del mundo moderno se hunden en la noche de los tiempos, y si les seguimos la pista profundizando cada vez más a través de la faz cambiante de la Tierra, descubriremos líneas de causación que a menudo nos llevarán directamente hasta el nacimiento de nuestro planeta.

Quien haya conversado con niños entenderá lo que quiero decir aquí. Para un niño de seis años curioso que pregunta cómo funciona algo o por qué ese algo es como es, nuestra respuesta inmediata nunca es satisfactoria. Abre la puerta a otros misterios. Una primera pregunta sencilla lleva invariablemente a toda una serie de «¿por qué?», «pero ¿por qué?», «¿por qué es así?». Con una curiosidad insaciable, el niño intenta captar el sentido de la naturaleza que subyace al mundo en el que se encuentra. Quiero examinar nuestra historia de la misma manera, perforando hacia abajo a través de razones cada vez más fundamentales e investigar cómo facetas del mundo aparentemente no relacionadas entre sí comparten de hecho un vínculo profundo.

La historia es caótica, desordenada, aleatoria: unos pocos años con poca lluvia provocan hambrunas y agitación social; un volcán entra en erupción y aniquila los pueblos circundantes; un general toma una decisión errónea en medio del

clamor sudoroso y el derramamiento de sangre en el campo de batalla, y un imperio resulta destruido. Pero, más allá de las contingencias concretas de la historia, si observamos nuestro mundo a una escala lo suficientemente amplia, desde el punto de vista tanto del tiempo como del espacio, pueden discernirse tendencias estables y constantes incontrovertibles, y pueden explicarse las causas profundas que hay tras ellas. Desde luego, la constitución de nuestro planeta no lo ha predeterminado todo, pero no obstante, pueden distinguirse ciertos temas dominantes.

Nuestra investigación se extenderá por un periodo de tiempo asombroso. Toda la historia humana se ha desarrollado sobre un mapa esencialmente estático, dentro de un único fotograma de la película de la Tierra. Pero el mundo no ha tenido siempre este aspecto, y aunque los continentes y océanos cambian a lo largo de escalas temporales lentas, los rostros que ha tenido la Tierra en el pasado han influido mucho en nuestro relato. Contemplaremos la naturaleza cambiante de la Tierra y el desarrollo de la vida en nuestro planeta a lo largo de los últimos miles de millones de años; la evolución de los humanos a partir de nuestros antepasados simios durante los últimos cinco millones de años; el aumento de las capacidades humanas y la dispersión de nuestra especie por el mundo a lo largo de los últimos cien mil años; el avance de la civilización durante los últimos diez mil años; las tendencias más recientes del intercambio comercial, la industrialización y la globalización del último milenio, y finalmente analizaremos cómo hemos llegado a ensamblar este maravilloso relato del origen durante el último siglo.

En el proceso, viajaremos hasta los confines de la historia... y más allá. Los historiadores descifran e interpretan los registros escritos para exponer el relato de nuestras civilizaciones más antiguas. Los arqueólogos que cepillan y quitan el polvo de utensilios antiguos y ruinas pueden ilustrarnos acerca de nuestra prehistoria inicial y nuestra vida como cazadores-recolectores. Los paleontólogos han dado sentido a nuestra evolución como especie. Y para mirar detenidamente incluso más atrás en el tiempo, nos basaremos en revelaciones

procedentes de otros campos de la ciencia: estudiaremos los registros conservados en estratos que constituyen el entramado mismo de nuestro planeta; leeremos las inscripciones antiguas del código genético almacenadas en la biblioteca de ADN del interior de cada una de nuestras células, y fisgaremos a través de telescopios para inspeccionar las fuerzas cósmicas que modelaron nuestro mundo. Las hebras narrativas de la historia y de la ciencia estarán entretejidas a lo largo de todo el libro, y constituirán la urdimbre y la trama de su tejido.

Cada cultura ha desarrollado su propio relato original, desde el tiempo del sueño de los aborígenes australianos hasta el mito de la creación de los zulúes. Pero la ciencia moderna ha construido un relato cada vez más completo y fascinante de cómo llegó a formarse el mundo que nos rodea y de cómo ocupamos nuestro lugar en su seno. En vez de basarnos únicamente en nuestra imaginación, ahora podemos dilucidar la crónica de la creación al usar estas herramientas de la investigación. Este es, pues, el relato de los orígenes por antonomasia: el de toda la humanidad y también el del planeta en el que vivimos.

Analizaremos por qué la Tierra ha experimentado a lo largo de las últimas decenas de millones de años una tendencia prolongada al enfriamiento y a la desecación, y cómo esto creó las especies de plantas que acabamos cultivando y los mamíferos herbívoros que domesticamos. Investigaremos cómo la última edad de hielo permitió que nos dispersáramos por todo el globo, y por qué la humanidad no llegó a asentarse y a desarrollar la agricultura hasta el periodo interglacial actual. Consideraremos cómo hemos aprendido a explotar y a extraer de la corteza del planeta una enorme variedad de metales que han impulsado una sucesión de revoluciones en los ámbitos de la elaboración de herramientas y de la tecnología a lo largo de la historia, y cómo la Tierra nos ofreció las fuentes de energía fósil que han alimentado a nuestro mundo desde la Revolución industrial. Trataremos la era de la exploración en el contexto de los sistemas fundamentales de circulación de la atmósfera y de los océanos de la Tierra, y

veremos cómo los marinos llegaron a comprender poco a poco las pautas de los vientos y las corrientes oceánicas para establecer rutas de comercio transcontinentales e imperios marítimos. Exploraremos cómo la historia de la Tierra ha creado las preocupaciones geoestratégicas de hoy en día y sigue influyendo en la política moderna; cómo el mapa político del sudeste de Estados Unidos continúa siendo modelado por sedimentos procedentes de un mar que existió hace 75 millones de años, y cómo las pautas electorales en Gran Bretaña reflejan la localización de depósitos geológicos que datan del periodo Carbonífero, hace 320 millones de años. Es mediante el conocimiento de nuestro pasado que podremos comprender el presente y prepararnos para encarar el futuro.

Iniciaremos el relato de nuestro origen último con la pregunta más profunda de todas: ¿qué procesos planetarios causaron la evolución de la humanidad?

1

La creación de nosotros

Todos somos simios.

La rama humana del árbol evolutivo, la de los llamados «homininos», es parte del grupo animal más amplio de los primates.(2) Nuestros parientes vivos más cercanos son los chimpancés. La genética sugiere que nuestra divergencia respecto de ellos fue un proceso sumamente largo, que empezó hace ya trece millones de años, y que el entrecruzamiento continuó hasta hace quizá siete millones de años.[1] Sin embargo, al final nuestras historias evolutivas se separaron, y una rama dio origen a los actuales chimpancé común y bonobo, mientras que la otra se diversificó en las diferentes especies de homininos, una de las cuales, *Homo sapiens*, la nuestra, constituía solo una ramita. Si consideramos nuestro desarrollo de esta manera, los humanos no evolucionamos a partir de los simios, sino que todavía lo somos, de la misma manera que seguimos siendo mamíferos.

Todas las transiciones principales en la evolución de los homininos tuvieron lugar en África oriental. Esta región del mundo se encuentra entre el cinturón de pluviselvas que rodea al ecuador del planeta, que comprende el Congo, la Amazonia y las islas tropicales de Indonesia. Por lo tanto, por derecho, África oriental debería estar también densamente arbolada, pero en cambio se caracteriza sobre todo por praderas secas, por sabanas. Si bien nuestros ancestros primates eran moradores de los árboles que vivían a base de frutos y hojas, algo drástico ocurrió en esta región del mundo, nuestro lugar de origen, que transformó el hábitat de bosques frondosos y lo convirtió en sabanas áridas, y a

su vez impulsó nuestra trayectoria evolutiva desde primates que se columpiaban en los árboles hasta homininos bípedos que cazaban en las praderas doradas.

¿Cuáles fueron los factores planetarios que transformaron esta región concreta para crear un ambiente en el que podían evolucionar animales inteligentes y adaptables? Y puesto que nosotros somos solo una de varias especies similares de homininos inteligentes, usuarios de utensilios, que evolucionaron en África, ¿cuáles fueron las razones últimas por las que *Homo sapiens* prevaleció hasta heredar la Tierra como el único superviviente de nuestra rama evolutiva?

Enfriamiento global

Nuestro planeta es un lugar en constante actividad, que cambia sin cesar su faz. Si hiciéramos avanzar rápidamente las imágenes desde los tiempos más remotos, veríamos los continentes deslizándose entre multitud de configuraciones diferentes, colisionando con frecuencia y fusionándose solo para desgarrarse de nuevo, con vastos océanos que se abren y después se reducen y desaparecen. Surgen grandes cadenas de volcanes que chisporrotean, el suelo tiembla a causa de los terremotos, y encumbradas cordilleras surgen del terreno antes de ser erosionadas y convertirse en polvo. El motor que impulsa toda esta actividad ferviente es la tectónica de placas, y constituye la causa última que hay detrás de nuestra evolución.

La piel externa de la Tierra, la corteza, es como una cáscara de huevo quebradiza que encierra el manto, más cálido y viscoso, que hay debajo. Esta cáscara está resquebrajada, fragmentada en muchas placas separadas que recorren la faz del planeta. Los continentes están conformados por una corteza más gruesa de rocas menos densas, mientras que la oceánica es más delgada pero más pesada, y por ello no está tan elevada como la corteza continental. La mayoría de las placas tectónicas están hechas de corteza tanto continental como oceánica, y estas balsas se empujan constantemente unas a otras para alcanzar su

posición relativa, mientras se mecen sobre el manto caliente y agitado y cabalgan a merced de sus corrientes.

Allí donde dos placas se embisten, a lo largo de lo que se conoce como «límite de placa convergente», algo ha de ceder. El borde anterior de una de las dos placas se introduce debajo de la otra y es arrastrado hasta el calor del manto, que funde las rocas, algo que desencadena terremotos frecuentes y alimenta un arco de volcanes. Dado que las rocas de la corteza continental son menos densas y por lo tanto flotan más, es casi invariablemente la porción de corteza oceánica la que se hunde debajo de la otra en una colisión de placas. Este proceso de subducción continúa hasta que el océano intermedio ha sido engullido, los dos pedazos de corteza continental se fusionan y una cordillera montañosa grande y arrugada señala la línea de impacto.

Los límites divergentes, o constructivos, son los lugares en que dos placas se separan. El manto caliente asciende de las profundidades y ocupa este desgarrón, como sangre que mana de un corte en el brazo, y se solidifica para formar nueva corteza rocosa. Aunque un nuevo rift(3) expansivo puede abrirse en medio de un continente, rasgándolo en dos, esta corteza reciente es densa y se sitúa en un nivel bajo, con lo cual queda cubierta de agua. Los límites constructivos forman nueva corteza oceánica; un ejemplo notable de semejante fisura de la expansión del fondo oceánico es la dorsal mesoatlántica.[2]

La tectónica de placas es un tema primordial de la Tierra al que volveremos a lo largo del libro, pero por ahora nos centraremos en cómo el cambio climático que produjo en el transcurso de la historia geológica reciente propició las condiciones para nuestra propia creación.

Los últimos 50 millones de años, aproximadamente, han estado caracterizados por un enfriamiento del clima global. A este proceso se lo denomina «enfriamiento del Cenozoico», y hace 2,6 millones de años culminó en el periodo actual de edades de hielo pulsantes, que consideraremos en detalle en el próximo capítulo. Esta tendencia global al enfriamiento a largo plazo fue provocada en gran parte por la colisión continental de India contra Eurasia y el

levantamiento del Himalaya. La posterior erosión de esta elevada cordillera rocosa extrajo mucho dióxido de carbono de la atmósfera, lo que dio lugar a una reducción del efecto invernadero que antes aislaba al planeta (véase el capítulo 2) y condujo a un descenso de las temperaturas. A su vez, las condiciones generalmente más frescas dieron lugar a una menor evaporación de los océanos, lo que creó un mundo menos lluvioso y más seco.

Aunque este proceso tectónico se produjo a unos 5.000 kilómetros de distancia, en el océano Índico, tuvo también un efecto regional directo sobre el escenario de nuestra evolución. La cordillera del Himalaya y la meseta del Tíbet crearon un potentísimo sistema de monzones sobre India y el Sudeste Asiático. Pero este enorme efecto de succión atmosférica sobre el océano Índico también se llevó la humedad de África oriental, al reducir la pluviosidad que experimentaba. Se cree que otros acontecimientos tectónicos globales contribuyeron a la aridificación de esta región. Hace unos 3-4 millones de años, Australia y Nueva Guinea derivaron hacia el norte, y al hacerlo cerraron un brazo de mar oceánico conocido como canal marítimo Indonesio. Este bloqueo redujo el flujo hacia el oeste de aguas cálidas del Pacífico Sur, y en su lugar aguas más frías del Pacífico Norte fluyeron a través del Índico central. Un océano Índico más frío redujo la evaporación, lo que a su vez supuso menos pluviosidad para África oriental.[3] No obstante, cabe destacar que otro trastorno tectónico enorme estaba teniendo lugar en la misma África, uno que demostró ser fundamental para la creación de la humanidad.

Un semillero de evolución

Hace unos 30 millones de años, un penacho de manto caliente se elevó bajo el nordeste de África. La masa continental fue forzada a crecer hacia arriba del orden de un kilómetro[4] como una enorme espinilla. La piel de la corteza continental sobre esta cúpula hinchada se extendió y se volvió más delgada hasta

que al final empezó a rasgarse por la parte media en una serie de fisuras. El Rift de África oriental se desgarró siguiendo una línea aproximadamente norte-sur, formando una rama oriental a través de las actuales Etiopía, Kenia, Tanzania y Malaui, y una rama occidental que corta a través del Congo y después continúa a lo largo de su frontera con Tanzania.

Este proceso de desgarramiento de la Tierra fue más intenso hacia el norte, y rompió directamente la corteza para permitir que el magma se filtrara a través de la extensa herida y creara una nueva corteza de roca basáltica. Después, el agua inundó esta fisura profunda para dar lugar al mar Rojo; otra fisura se convirtió en el golfo de Adén. Estas grietas de expansión del fondo marino arrancaron un fragmento del Cuerno de África para formar una nueva placa tectónica, la arábiga. La unión en forma de Y del Rift africano, el mar Rojo y el golfo de Adén recibe el nombre de «triple intersección», y directamente en el centro de dicha intersección se halla un triángulo de tierras bajas, la región de Afar, que se extiende por el nordeste de Etiopía, Yibuti y Eritrea.[5] Más tarde volveremos a esta importante zona.

El Rift de África oriental recorre miles de kilómetros desde Etiopía hasta Mozambique. Puesto que continúa aumentando el penacho de magma que surge bajo él, el Rift sigue abriéndose. Este proceso «tectónico extensional» provoca que bloques enteros de roca se fracturen a lo largo de fallas y se desprendan; los flancos son empujados hacia arriba como empinadas escarpaduras y los bloques que hay en medio se hunden para formar el fondo del valle. Hace entre 5,5 y 3,7 millones de años, este proceso creó el paisaje actual del Rift, un valle amplio y profundo que se encuentra aproximadamente a un kilómetro por encima del nivel del mar y que está revestido a cada lado por cordilleras.[6]

Un efecto importante del aumento de esta protuberancia de la corteza y de las cordilleras elevadas del Rift fue bloquear la pluviosidad sobre gran parte de África oriental. El aire húmedo que procede del océano Índico es forzado hacia arriba, a altitudes más altas, donde se enfría y se condensa, y cae en forma de lluvia cerca de la costa. Esto crea condiciones más secas tierra adentro, un

fenómeno conocido como «sombra de la lluvia».[7] Al mismo tiempo, el aire húmedo procedente de las pluviselvas es bloqueado también por las tierras altas del Rift, y no puede dirigirse hacia el este.[8]

El resultado de todos estos procesos tectónicos (la creación del Himalaya, el cierre del canal marítimo Indonesio y, en particular, el levantamiento de las altas cordilleras del Rift africano) fue que África oriental se resecó. Y la formación del Rift cambió no solo el clima sino también el paisaje, y en el proceso transformó los ecosistemas de la zona. El África oriental dejó de ser un área uniforme y llana, ocupada por bosque tropical, y se convirtió en una región montañosa accidentada con mesetas y valles profundos, y con una vegetación que va desde el bosque nuboso hasta la sabana y el matorral de desierto.[9]

Aunque el Gran Rift empezó a formarse hace unos 30 millones de años, buena parte del levantamiento y de la aridificación tuvo lugar durante los últimos 3-4 millones de años.[10] A lo largo de este periodo, el mismo que fue testigo de nuestra evolución, el escenario de África oriental pasó del que puede verse en *Tarzán* al representado en *El rey león*.[11] Esta desecación a largo plazo, que redujo y fragmentó el hábitat forestal y lo sustituyó por sabana, constituyó uno de los principales factores que impulsaron la divergencia de los homininos a partir de los simios arborícolas. La extensión de las praderas secas ocasionó también una proliferación de grandes animales herbívoros, especies de ungulados, como los antílopes y las cebras, que los humanos acabarían cazando.

Pero no fue el único factor. Debido a su formación tectónica, el valle del Rift se convirtió en un ambiente muy complejo, con una serie de entornos diferentes muy próximos entre sí: bosques y praderas, cordilleras, escarpaduras, colinas, mesetas y llanuras, valles y profundos lagos de agua dulce en la superficie[12] Esto ha sido descrito como un ambiente en mosaico, que ofrecía a los homininos una gran diversidad de alimentos, recursos y oportunidades.[13]

La ampliación del Rift y el afloramiento de magma se vieron acompañados por ristras de violentos volcanes que expulsaban piedra pómez y cenizas sobre toda la región. Este valle de África oriental está tachonado de volcanes, muchos

de los cuales se formaron solo en los últimos pocos millones de años. La mayoría se encuentran dentro del mismo valle del Rift, pero algunos de los mayores y más antiguos están en los bordes, entre ellos los montes Kenya, Elgon y Kilimanjaro, que es la montaña más alta de África.

Las frecuentes erupciones volcánicas vertieron coladas de lava que se solidificaron en crestas rocosas que entrecruzan el paisaje. Estas podían ser atravesadas por homininos de pies ligeros, y, junto con las empinadas paredes de los precipicios, el Rift quizá proporcionase barreras y obstáculos naturales infranqueables para los animales que cazaban. Los primeros cazadores eran más capaces de predecir y controlar los movimientos de sus presas, limitaban sus rutas de huida y las dirigían a una trampa para la matanza. Estas mismas características quizá ofrecieran también a los vulnerables primeros humanos cierta protección y seguridad frente a los depredadores que merodeaban por el paisaje.[14] Parece que este terreno irregular y variado proporcionó a los homininos el ambiente ideal en el que medrar. Los primeros humanos, que, como nosotros, eran relativamente débiles y no tenían la velocidad de un guepardo o la fuerza de un león, aprendieron a trabajar juntos y a sacar partido de la configuración del terreno, con toda su complejidad tectónica y volcánica, para que les ayudara a cazar.

La tectónica activa y el vulcanismo crearon y después mantuvieron estas características de un paisaje variado y dinámico a lo largo de nuestra evolución. De hecho, al ser el Rift africano una región tan activa desde el punto de vista tectónico, el territorio ha cambiado mucho desde la época de la primera ocupación por humanos. A medida que el Rift ha continuado ensanchándose, las zonas que antaño estaban ocupadas por los homininos en la superficie del valle han quedado ahora elevadas en los flancos de dicha falla; hoy en día es ahí donde encontramos fósiles de homininos y pruebas arqueológicas, completamente separados de sus escenarios originales. Y se cree que fue este gran rift, que en la actualidad es la región más relevante y longeva con tectónica extensional del mundo, el que fue crucial para nuestra evolución.

De los árboles a los utensilios

El primer hominino indiscutible del que hemos descubierto buenos restos fósiles es *Ardipithecus ramidus*, que vivió hace unos 4,4 millones de años en los bosques que bordeaban el valle del río Awash, en Etiopía. Esta especie tenía más o menos la misma estatura que los chimpancés actuales, con un cerebro de tamaño equivalente y dientes que sugieren que llevaba una dieta omnívora. Los esqueletos fosilizados indican que todavía vivían en los árboles y que habían desarrollado solo un primitivo bipedismo, la capacidad de andar erguidos sobre dos patas. Hace unos 4 millones de años, los primeros miembros del género *Australopithecus* (el «simio del sur») compartían diversos rasgos con los humanos modernos, como una forma corporal delgada y grácil (pero con un cráneo cuya forma era todavía más primitiva), y eran capaces de andar bípedamente. *Australopithecus afarensis*, por ejemplo, es bien conocido a partir de los fósiles que nos han llegado. Uno de ellos es el esqueleto en extremo completo de una hembra que vivió hace 3,2 millones de años en el valle del río Awash, a la que se acabó conociendo como Lucy.(4)

Lucy medía solo alrededor de 1,1 metros, pero tenía una columna vertebral, una pelvis y unos huesos de las piernas muy parecidos a los de los humanos modernos. De modo que, mientras que ella, y otros miembros de *A. afarensis*,(5) todavía tenían un cerebro pequeño, del tamaño del de un chimpancé, su esqueleto indica claramente un estilo de vida consistente en marchas bípedas de larga distancia. En realidad, un lecho de cenizas volcánicas situado en Laetoli, Tanzania, ha conservado tres conjuntos de huellas de pies de hace 3,7 millones de años. Es probable que las produjeran miembros de *A. afarensis*, y se parecen notablemente a las que podríamos dejar en la arena durante un paseo por la playa.

En la evolución humana, el desarrollo del bipedismo apareció claramente

mucho antes que los aumentos más considerables del tamaño del cerebro; andamos por los caminos antes de hablar por los codos. Estos fósiles de *Australopithecus*, junto con los de las especies anteriores de *Ardipithecus*, muestran también que el bipedismo no evolucionó como una adaptación a los ambientes abiertos, de sabana herbácea, como se había creído con anterioridad, sino que apareció cuando los homininos vivían todavía entre árboles en áreas forestales.[15] Pero el bipedismo se convirtió sin lugar a duda en una adaptación cada vez más útil a medida que los bosques se reducían y se fragmentaban. Nuestros primitivos antepasados homininos podían desplazarse entre islas de bosques y después aventurarse en las praderas. El bipedismo les permitía ver por encima de las hierbas altas y minimizaba la superficie de su cuerpo expuesta al ardiente sol, lo que les ayudaba a mantenerse frescos en el calor de la sabana. Y los pulgares oponibles, que resultaron tan útiles para sostener y manipular utensilios, son también una herencia evolutiva de nuestros ancestros primates que vivían en los bosques. La mano, elaborada por la evolución para agarrar una rama de árbol, nos adaptó de antemano para sostener el mango de un garrote, un hacha, una pluma y, en último término, la palanca de control de un reactor.

Hace aproximadamente 2 millones de años, las especies de homininos del género *Australopithecus* se habían extinguido y de ellas había surgido nuestro género, *Homo*. *Homo habilis* («hombre hábil») fue la primera especie, tenía una forma corporal grácil similar a la de los primeros australopitecinos y un cerebro solo ligeramente mayor.[16] Sin embargo, un aumento espectacular del tamaño del cuerpo y del cerebro, así como un cambio importante del estilo de vida, se produjeron con *Homo erectus*, que apareció hace unos 2 millones de años en África oriental. Por debajo del cráneo, el esqueleto de *H. erectus* es muy parecido al de los humanos anatómicamente modernos, lo cual incluye adaptaciones para correr largas distancias y un diseño del hombro que habría permitido el lanzamiento de proyectiles. También se cree que poseían otros rasgos que compartían con nosotros, como una larga infancia de desarrollo más lento y un comportamiento social avanzado.

Es probable que *H. erectus* fuese asimismo el primer hominino que vivió como cazador-recolector y que controló el fuego, no solo para calentarse sino posiblemente también para cocinar.[17] Puede que incluso emplearan almadías para desplazarse por masas de agua grandes.[18] Hace 1,8 millones de años, *H. erectus* se había extendido por África y después se convirtió en el primer hominino que abandonó el continente y se dispersó por Eurasia, quizá en varias oleadas de migración independientes.[19] Esta especie persistió durante casi 2 millones de años. En cambio, los humanos anatómicamente modernos han estado aquí solo durante la décima parte de este tiempo... y tendremos suerte si sobrevivimos no ya 2 millones de años más, sino durante los próximos 10.000.

H. erectus dio origen a *H. heidelbergensis* hace unos 800.000 años, que hace unos 250.000 años había evolucionado hasta *Homo neanderthalensis* (los neandertales) en Europa y el hominino denisovano en Asia. El primer humano anatómicamente moderno, *Homo sapiens*, surgió en África oriental hace entre 300.000 y 200.000 años.

A lo largo de la evolución humana, los homininos se volvieron cada vez más bípedos, y después corredores de larga distancia más eficientes,[20] con cambios en el esqueleto, entre ellos una columna vertebral en forma de S, una pelvis en forma de cuenco y piernas más largas para sostener su postura erguida y su modo de locomoción. El pelo corporal se redujo, excepto en el cuero cabelludo. La forma de la cabeza también se transformó, dando lugar a un hocico menor con un mentón más pronunciado y a una cavidad craneal con más forma de cuenco.[21] De hecho, la diferencia principal entre el género anterior *Australopithecus* y nuestro linaje *Homo* fue este aumento del tamaño del cerebro. A lo largo de sus 2 millones de años de evolución, el de los australopitecinos se mantuvo sorprendentemente constante, alrededor de los 450 cm^3, más o menos el equivalente al de un chimpancé moderno. Pero *H. habilis* tenía un cerebro una tercera parte mayor, de unos 600 cm^3, y el tamaño cerebral se duplicó de nuevo desde *H. habilis* hasta *H. erectus* y de este a *H. heidelbergensis*. Hace 600.000 años, *H. heidelbergensis* tenía un cerebro cuyo

tamaño era similar al de los humanos modernos, y tres veces mayor que el de los australopitecinos.[22]

Al igual que el aumento del tamaño del cerebro, otro rasgo distintivo de los homininos fue cómo aplicamos nuestra inteligencia a la elaboración de utensilios. Los utensilios líticos (de piedra) más antiguos y extendidos (conocidos como «tecnología olduvayense») se remontan a hace unos 2,6 millones de años, y fueron usados por las últimas especies de *Australopithecus*, así como por *H. habilis* y *H. erectus*. Se usaron cantos redondeados de un río para cascar huesos o nueces sobre otra piedra plana, que actuaba de yunque. Se crearon bordes aguzados al desconchar lascas, y esta piedra modelada se usaba después para cortar y raspar carne de una pieza abatida, o para trabajar la madera.(6)

La tecnología de la Edad de Piedra experimentó una revolución cuando *H. erectus* heredó utensilios olduvayenses y los refinó en la industria achelense hace 1,7 millones de años. Las herramientas achelenses están trabajadas de manera más esmerada, al extraer de la piedra lascas cada vez más pequeñas para crear hachas de mano en forma de pera, más simétricas y delgadas. Estos utensilios han representado la tecnología dominante durante la inmensa mayoría de la historia humana. Una transformación tardía dio lugar a la tecnología musteriense, usada por los neandertales y los humanos anatómicamente modernos durante toda la Edad de Hielo. En este caso, el núcleo de piedra era preparado y recortado al desportillar el borde, antes de lograr desprender con destreza una lasca grande. El objetivo era más la lasca extraída que el núcleo elaborado; una esquirla delgada y puntiaguda era perfecta como cuchilla, o bien podía usarse como una punta de lanza o de flecha.[23]

Estos instrumentos de piedra, así como astas con lanzas de madera, permitieron a los homininos convertirse en cazadores imponentes y efectivos sin necesidad de que sus cuerpos desarrollaran grandes dientes o garras, a diferencia de otros depredadores. Explotamos palos y piedras como dientes y garras artificiales para cazar y obtener comida o para defendernos, todo ello mientras

podíamos mantenernos a una distancia segura de las presas y los depredadores para minimizar el riesgo de heridas.

Estas modificaciones de la forma del cuerpo y del estilo de vida se reforzaron mutuamente. Una carrera más eficiente y capacidades cognitivas elaboradas, unidas al empleo de utensilios y al control del fuego, permitieron una caza más eficaz y una dieta con una proporción creciente de carne para alimentar un cerebro mayor. A su vez, esto nos permitió desarrollar una interacción y una cooperación sociales más complejas, el aprendizaje cultural y la resolución de problemas y, quizá lo más importante de todo, el lenguaje.[24]

El péndulo del clima

De muchas de estas transiciones trascendentales en nuestra evolución sigue habiendo restos en la región de Afar, la depresión triangular que, según hemos visto, se encuentra directamente en la intersección de la triple unión tectónica, en el extremo septentrional —el más antiguo— del Rift. Los primeros fósiles de homininos, los de *Ardipithecus ramidus*, fueron descubiertos en el valle del río Awash, que recorre el nordeste desde la meseta etíope hacia Yibuti y que fluye directamente a través del triángulo de Afar. Este mismo valle fluvial conservó los restos de 3,2 millones de años de edad de Lucy; de hecho, toda su especie, *Australopithecus afarensis*, recibió el nombre de esta región. Y los utensilios olduvayenses más antiguos que se conocen fueron encontrados en Gona, Etiopía, que también se halla en el triángulo de Afar. Aun así, toda la extensión del valle del Rift ha sido un caldo de cultivo de la evolución de los homininos.

El clima cada vez más seco y el sistema de rift, con su mosaico de características variadas, que incluye cordilleras volcánicas y escarpes de falla, fueron claramente decisivos a la hora de proporcionar las condiciones ambientales que impulsaron nuestra evolución. Sin embargo, aunque este paisaje tectónico complejo pudo ofrecer oportunidades a los homininos itinerantes, no

explica satisfactoriamente cómo aparecieron, para empezar, una versatilidad y una inteligencia tan increíbles. Se cree que la respuesta se reduce a una peculiaridad concreta de la tectónica extensional del gran valle del Rift, y a cómo interactúa con las fluctuaciones del clima.

Como hemos visto, por regla general el mundo se ha ido enfriando y desecando durante los últimos 50 millones de años aproximadamente, y el solevamiento tectónico y la formación del valle del Rift comportaron que África oriental en concreto se secara y perdiera sus antiguos bosques. Pero, en el marco de esta tendencia global al enfriamiento y la desecación, el clima se volvió muy inestable y sufrió oscilaciones espectaculares. Tal como expondré con más detalle en el próximo capítulo, hace unos 2,6 millones de años la Tierra se adentró en la época actual de edades de hielo, con sus fases alternas glaciares e interglaciares, impulsadas por cambios rítmicos de la órbita y la inclinación terrestres conocidos como «ciclos de Milankovitch». África oriental estaba demasiado alejada de los polos para que llegaran a ella los casquetes de hielo que avanzaban, pero esto no significa que no se viera muy afectada por estos ciclos cósmicos. En particular, el alargamiento periódico de la órbita de la Tierra alrededor del Sol en una forma ovoide más alargada (conocida como «ciclo de excentricidad») ha dado lugar a periodos de clima muy variable en África oriental. Durante cada una de estas fases de variabilidad extrema, el clima oscila entre condiciones muy áridas y otras más húmedas, con el ritmo más rápido del ciclo de precesión terrestre, al que volveremos más adelante.[25]

Aun así, estas periodicidades cósmicas y los cambios de clima que promueven tienen lugar a lo largo de miles y miles de años. Si queremos comprender la evolución humana, el misterio estriba en que procesos que han tenido una notable influencia en África oriental (como el efecto de desecación general producido por el solevamiento tectónico y la generación de rifts en la región, o los ritmos climáticos como la precesión de la Tierra) operan a una escala de tiempo excesivamente lenta si se la compara con la duración de la vida de un animal. Pero la inteligencia, y el comportamiento totalmente versátil que esta

permite, constituyen una adaptación similar al uso de un cuchillo multiuso del ejército suizo, que ayuda al individuo a habérselas con diversos retos a medida que el entorno varía de manera significativa en el curso de su vida. Los cambios ambientales a una escala de tiempo mucho mayor puede abordarlos la evolución adaptando el cuerpo o la fisiología de una especie a lo largo de generaciones (como el camello, que lo ha hecho a condiciones constantemente áridas). La inteligencia, por otra parte, es la solución evolutiva al problema de un ambiente que cambia con mayor rapidez de lo que la selección natural puede adaptar el cuerpo. Así, para que existiese una fuerte presión evolutiva que condujera a los homininos hacia un comportamiento cada vez más flexible e inteligente, algo debió de afectar a nuestros antepasados a escalas de tiempo muy cortas.

¿Qué pudo haber de especial en las circunstancias existentes en África oriental que impulsaron la evolución hacia homininos muy inteligentes como nosotros? La respuesta que ha ido surgiendo en los últimos años apunta de nuevo al ambiente tectónico concreto de la región. Como hemos visto, África oriental se estaba elevando con el penacho de magma que surgía bajo ella, y ello distendió la corteza hasta que se produjeron fracturas y fallas. La geografía del gran rift africano se caracteriza por tanto por un fondo de valle plano en el que se han hundido grandes fragmentos de corteza, y que está bordeado a ambos lados por aristas montañosas. En concreto, desde hace unos 3 millones de años se formaron en el fondo del valle numerosas cuencas aisladas que se podían llenar con lagos si las condiciones climáticas producían lluvia suficiente.[26] Estos lagos profundos son importantes porque proporcionaron a los homininos una fuente de agua más segura durante las estaciones secas de cada año que la ofrecida por los arroyos.[27] Sin embargo, muchos de ellos eran también efímeros; aparecían y desaparecían a lo largo del tiempo en función del clima cambiante.

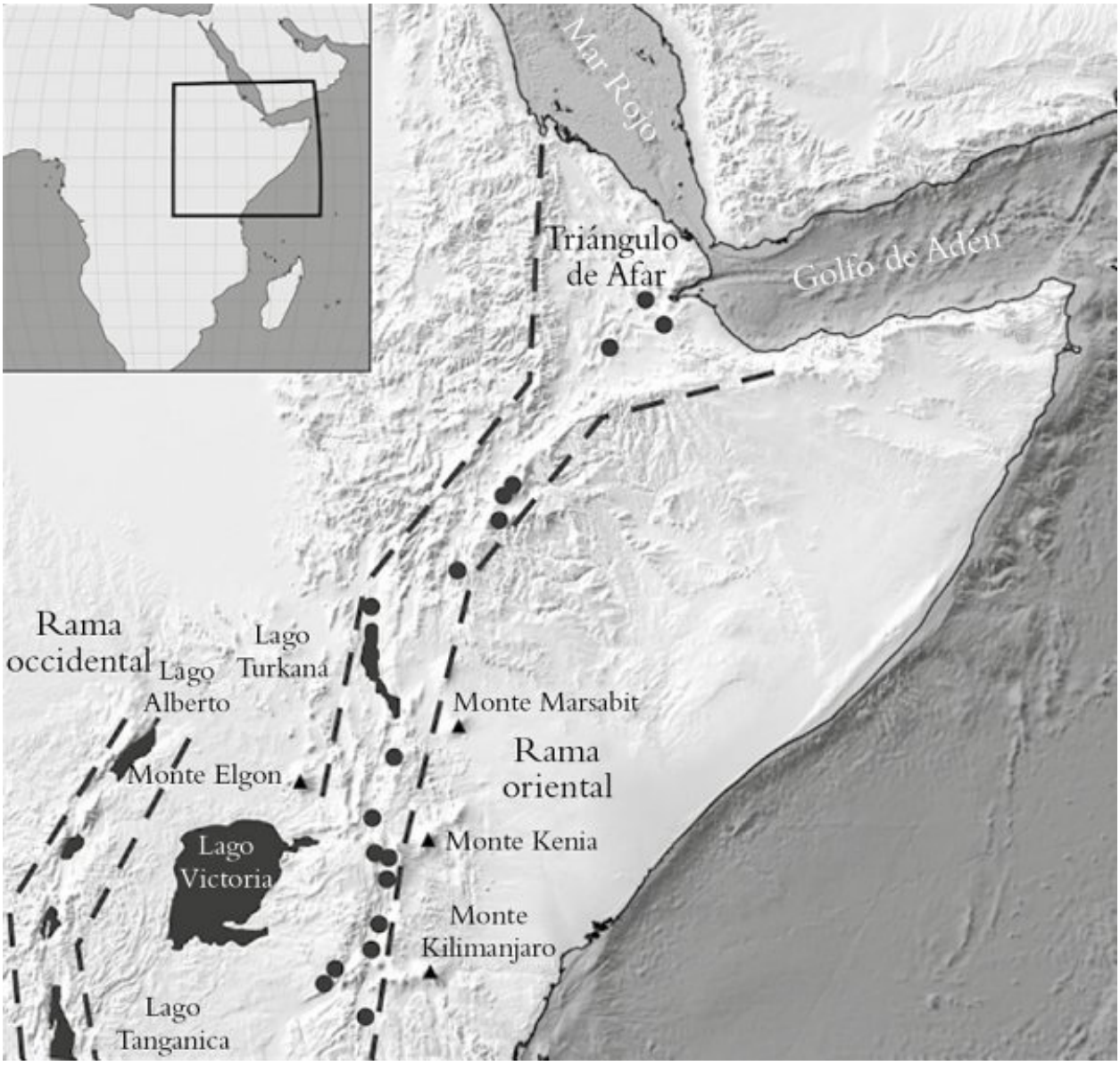


FIGURA 1. Sistema del valle del Rift de África oriental, que muestra los lagos y las cuencas lacustres amplificadoras.

El paisaje del rift tectónico crea un fuerte contraste entre las condiciones de las tierras altas y las del fondo del valle. La lluvia cae sobre las altas paredes del rift y los picos volcánicos, desde donde después fluye al interior de los lagos que jalonan el fondo del valle, un ambiente mucho más cálido con elevadas tasas de evaporación. Esto significa que muchos de los lagos del valle del Rift son muy sensibles al equilibrio entre precipitación y evaporación, e incluso un pequeño

cambio del clima hace que el nivel de agua responda de manera muy rápida y muy considerable, muchísimo más que otros lagos de todo el mundo e incluso de otras regiones de África.[28] Puesto que pequeñas alteraciones del clima regional provocan cambios muy grandes del nivel de estas masas de agua vitales, se los conoce como «lagos amplificadores»; actúan como un amplificador de alta fidelidad que intensifica una señal débil. Y se cree que son estos peculiares lagos amplificadores los que proporcionan el vínculo clave entre las tendencias a largo plazo de la tectónica que creó el valle del Rift y los cambios del clima de la Tierra y las rápidas fluctuaciones de los hábitats que afectaron, directa y espectacularmente, a nuestra evolución.

Dos aspectos concretos de las circunstancias cósmicas de nuestro planeta son importantes aquí: la elongación de la órbita de la Tierra alrededor del Sol (excentricidad) y el giro del eje de la Tierra (precesión). Cada vez que la órbita terrestre adquiría una forma más alargada (excentricidad máxima), el clima en África oriental se volvía muy inestable. Durante cada una de estas fases de variabilidad climática, siempre que el ciclo de precesión conllevaba un poco más de caldeamiento solar en el hemisferio norte, caía más lluvia en las paredes del valle del Rift. Los lagos amplificadores aparecían y aumentaban de tamaño, y sus riberas estaban bordeadas de bosque. Y al revés: durante la fase opuesta del ciclo de precesión, el rift recibía menos lluvia y los lagos disminuían de volumen o desaparecían por completo. Entonces el valle retornaba a un estado muy árido, con una vegetación mínima.[29] Así pues, en general, el ambiente en África oriental a lo largo de los últimos millones de años ha sido sobre todo muy seco, pero también ha habido periodos muy variables en los que el clima cambió con rapidez varias veces, pasando de ser mucho más húmedo a ser otra vez muy árido, y al revés.

Estas fases variables tenían lugar cada 800.000 años, aproximadamente, y durante estos periodos los lagos amplificadores titilaban como una bombilla eléctrica mal enroscada que se enciende y se apaga; cada cambio provocó una variación considerable en la disponibilidad de agua, vegetación y comida, lo que

tuvo una influencia profunda en nuestros antepasados. Estas condiciones, que fluctuaban muy deprisa, favorecieron la supervivencia de homininos que eran versátiles y adaptativos, con lo que impulsaron la evolución de un cerebro más grande y de una inteligencia mayor.[30]

Los tres periodos más recientes de esta variabilidad climática extrema tuvieron lugar hace 2,7-2,5, 1,9-1,7 y 1,1-0,9 millones de años.[31] Al estudiar el registro fósil, los científicos han hecho un descubrimiento fascinante. El momento en el que surgieron, o se extinguieron, nuevas especies de homininos, a menudo asociadas con un aumento del tamaño del cerebro, tiende a coincidir con estos periodos de condiciones fluctuantes húmedas-secas. Por ejemplo, uno de los episodios más importantes de la evolución humana tuvo lugar en el periodo variable de hace entre 1,9 y 1,7 millones de años, una fase en la que cinco de las siete cuencas lacustres principales del rift se llenaron y se vaciaron repetidamente. Fue durante esta época cuando el número de especies diferentes de homininos alcanzó su punto máximo, incluida la aparición de *H. erectus* y su espectacular aumento del tamaño del cerebro. En total, de las quince especies de homininos que conocemos, doce aparecieron por primera vez durante estas tres fases variables.[32] Es más, el desarrollo y la extensión de las diferentes etapas de tecnologías de utensilios que hemos comentado anteriormente (olduvayense, achelense y musteriense) se corresponden asimismo con los periodos de excentricidad de variabilidad climática extrema.[33]

Además, estos periodos de fluctuación no solo determinaron nuestra evolución; también se cree que fueron la fuerza que impulsó a varias especies de homininos a emigrar de su lugar de origen y dirigirse a Eurasia. En el capítulo siguiente analizaremos en detalle cómo *Homo sapiens*, nuestra especie, pudo dispersarse por todo el planeta, pero las condiciones que impelieron a los homininos a salir de África obedecieron en primer lugar a las fluctuaciones climáticas que tuvieron lugar en el Gran Rift.

Durante cada fase húmeda, el llenado de los grandes lagos amplificadores y la disponibilidad adicional de agua y comida debían de causar un estallido

demográfico, mientras que al mismo tiempo disminuía el espacio habitable a lo largo de la banquina del rift bordeada de árboles. Esto debió de concentrar a los homininos por toda la quebrada del valle del Rift y, finalmente, debió de empujarlos fuera de África oriental con cada pulso del ciclo de precesión, como una bomba climática. Las condiciones más húmedas debieron de permitirles también desplazarse hacia el norte a lo largo de los afluentes del Nilo y de los corredores más verdes de la península del Sinaí y de la región Levantina, para desparramarse en Eurasia.[34] *Homo erectus* abandonó África durante la fase de clima variable de hace unos 1,8 millones de años, y acabó extendiéndose hasta China. En Europa, *H. erectus* evolucionó hasta dar origen a los neandertales, mientras que la población que permaneció en África oriental al final dio origen a los humanos anatómicamente modernos hace 300.000-200.000 años.

Nuestra especie se dispersó fuera de África hace unos 60.000 años, como veremos en el capítulo siguiente. Nos encontramos a los descendientes de las oleadas previas de homininos migrantes (neandertales y denisovanos) a medida que nos desplazábamos por Europa y Asia. Pero estos acabaron por extinguirse hace unos 40.000 años, y solo quedaron los humanos anatómicamente modernos. Tras el apogeo de la diversidad de especies diferentes de homininos en África hace unos 2 millones de años,[35] por medio de nuestras interacciones (y el entrecruzamiento) con especies humanas estrechamente emparentadas a medida que nos desplazábamos por Eurasia, *Homo sapiens* se convirtió en una especie solitaria. En la actualidad somos el único superviviente de nuestro género, en realidad de todo el árbol genealógico de los homininos.

En sí mismo, esto constituye una curiosidad. Gracias a numerosas evidencias arqueológicas, sabemos que los neandertales eran una especie muy adaptable e inteligente. Elaboraban utensilios líticos y cazaban con lanzas, controlaban el fuego y quizá se decoraran el cuerpo e incluso enterraran a sus muertos. También eran físicamente más fuertes que nosotros, *Homo sapiens*. Aun así, casi tan pronto como llegamos a Europa los neandertales desaparecieron. Tal vez sucumbieran a las rigurosas condiciones climáticas de lo más profundo de la

Edad de Hielo (aunque la asombrosa coincidencia con nuestra llegada parece descartar esta explicación), o quizá los humanos anatómicamente modernos se enfrentasen de un modo violento con estos europeos preexistentes y los masacraran hasta hacerlos desaparecer. Pero la explicación más sencilla es que los ganamos en la competencia por los recursos en el ambiente compartido, sin más. Se cree que los humanos modernos teníamos unas capacidades lingüísticas muy superiores, y por tanto una coordinación social y una innovación mucho mejores, así como habilidades más avanzadas en la elaboración de utensilios. Y, a pesar de habernos dispersado desde el África tropical en fecha más reciente, podíamos elaborar agujas de coser y por ello pudimos confeccionar vestimenta más cálida y que se ajustaba al cuerpo cuando la Edad de Hielo atravesó periodos particularmente glaciales.[36]

Los humanos nos impusimos a los neandertales por nuestro cerebro, no por nuestro músculo, y en consecuencia acabamos dominando el mundo. Y la razón para ello probablemente sea que nuestros antepasados tuvieron una historia evolutiva más larga en el clima tan fluctuante de África oriental, lo que les obligó a desarrollar una inteligencia y versatilidad mayores que las de los neandertales. Habíamos pasado más tiempo adaptándonos a la variabilidad húmeda-seca del valle del Rift, y esto también nos hizo más capaces de habérnoslas con los diferentes climas que encontramos en el resto del mundo, incluidas las condiciones ambientales de la Edad de Hielo del hemisferio norte. [37]

En definitiva, el animal humano fue forjado por una combinación peculiar de procesos planetarios, todos los cuales coincidieron en África oriental a lo largo de los últimos millones de años. No fue solo que la región se hubiera desecado cuando la corteza terrestre se elevó debido al penacho de magma que ascendía por debajo, pasando del hábitat relativamente llano y forestal de nuestros antepasados primates a la sabana árida. Todo el paisaje se transformó en un terreno irregular cortado por empinados escarpes de falla y crestas de lava volcánica solidificada; aquel era un mundo fragmentado en un mosaico complejo

de diferentes hábitats que continuaron cambiando con el paso del tiempo. En particular, la tectónica extensional de África oriental desgarró el valle del Rift para crear una geografía única de elevadas paredes que recogían la lluvia y un cálido suelo de valle. Los ciclos cósmicos de la órbita de la Tierra y los giros del eje llenaron con regularidad las cuencas del fondo del rift con lagos amplificadores que respondían rápidamente incluso a las fluctuaciones climáticas más moderadas para crear una presión evolutiva poderosa sobre toda la vida en esta región.

Estas circunstancias únicas de los territorios de origen de los homininos impulsaron el desarrollo de especies adaptables y versátiles. Nuestros ancestros dependieron cada vez más de su inteligencia y de trabajar juntos en grupos sociales. Este paisaje diverso, que varió mucho en el espacio y en el tiempo, fue la cuna de la evolución de los homininos, y de ella surgió un simio desnudo y parlanchín lo bastante inteligente para llegar a comprender sus propios orígenes. Los sellos distintivos de *Homo sapiens* (la inteligencia, el lenguaje, el empleo de utensilios, el aprendizaje social y el comportamiento cooperativo, que nos permitirían desarrollar la agricultura, vivir en ciudades y construir civilizaciones) son consecuencia de esta variabilidad climática extrema, producida a su vez por las circunstancias especiales del valle del Rift. Como todas las especies, somos un producto de nuestro entorno. Somos una especie de simios nacidos del cambio climático y de la tectónica de África oriental.[38]

Somos los hijos de la tectónica de placas

La tectónica de placas no solo creó el ambiente diverso y dinámico de África oriental en el que evolucionamos como especie, sino que también iba a ser un factor que definiría dónde se aventuraría la humanidad para construir nuestras primeras civilizaciones.

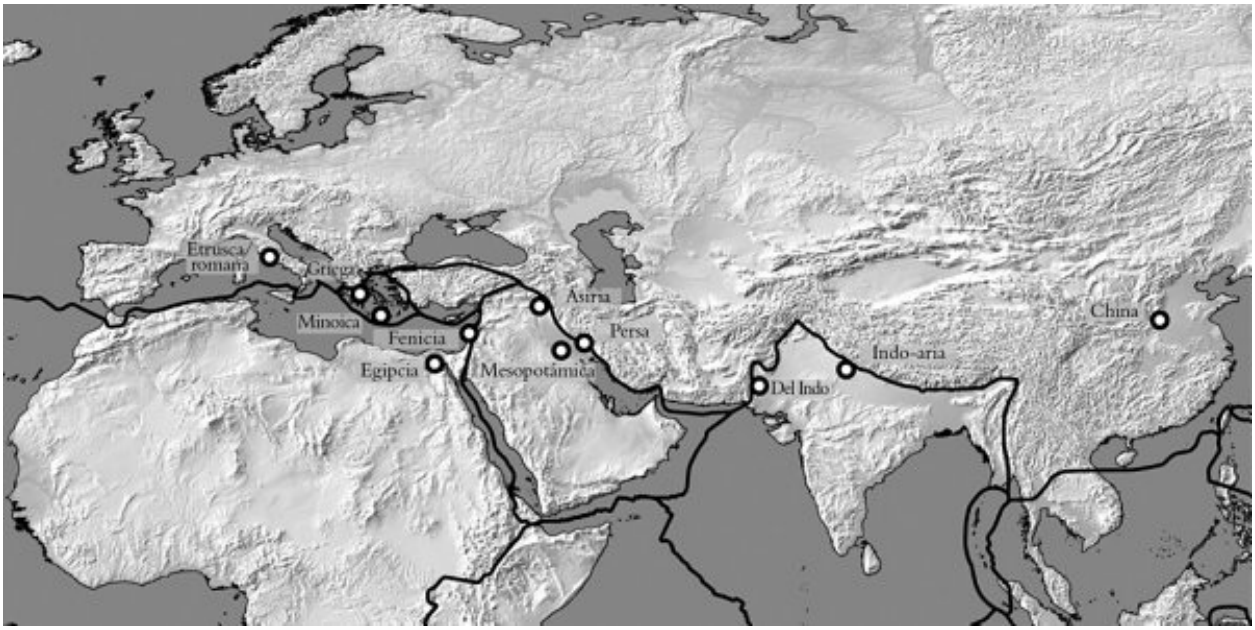


FIGURA 2. Las principales civilizaciones antiguas y su cercanía a los límites entre placas.

Si observamos un mapa de los límites de las placas tectónicas que entrechocan y le superponemos las localizaciones de las principales civilizaciones antiguas del mundo, se nos revela una relación asombrosamente directa: la mayoría se sitúan muy cerca de los márgenes de las placas. Si se considera la cantidad de territorio disponible en la Tierra para ser habitado, se trata de una correlación sorprendente, y es muy improbable que se haya producido por azar. Parece como si las primeras civilizaciones hubieran elegido acurrucarse cerca de fracturas tectónicas, milenios antes de que los científicos identificaran su existencia. Tiene que haber algo en los límites de las placas que los hiciera tan favorables para el establecimiento de culturas antiguas, a pesar de los peligros de terremotos, tsunamis y volcanes que estas fracturas plantean en la corteza terrestre.

En el valle del Indo, la civilización de Harappa surgió alrededor del año 3200 a. C. como una de las tres primeras del mundo (junto con las de Mesopotamia y Egipto),[39] en una depresión que recorre el pie del Himalaya. La colisión entre placas tectónicas pliega cordilleras de montañas altas (como el Himalaya, creado por el choque de India sobre Eurasia), pero el peso inmenso de la cordillera también flexiona hacia abajo la corteza a lo largo de aquella para crear una

cuenca baja de subsidencia. Los ríos Indo y Ganges, que fluyen desde el Himalaya, recorren esta cuenca de antepaís, donde depositan los sedimentos erosionados de las montañas para producir suelos muy fértiles para la agricultura primitiva. Se podría decir que la civilización de Harappa nació de la colisión continental entre India y la placa Euroasiática.

En Mesopotamia, los ríos Tigris y Éufrates fluyen también a lo largo de una cuenca de subsidencia presionada por los montes Zagros, que se formaron cuando la placa Arábiga quedó subducida bajo la euroasiática (según se muestra en la página 82).[40] Por lo tanto, los suelos mesopotámicos se enriquecieron de forma parecida con sedimentos erosionados de esta cordillera.[41] Las civilizaciones asiria y persa surgieron directamente sobre esta intersección entre las placas Arábiga y Euroasiática.

Los minoicos, griegos, etruscos y romanos se desarrollaron asimismo muy cerca de límites de placas en el seno del complejo entorno tectónico de la cuenca mediterránea. En Mesoamérica, la civilización maya surgió hacia el año 2000 a. C. y se extendió por buena parte del sudeste de México, Guatemala y Belice, construyendo ciudades importantes entre las montañas elevadas por la subducción de la placa de Cocos bajo las placas norteamericana y caribeña. Y la cultura azteca, posterior, floreció cerca del mismo límite convergente de placa, con sus terremotos y volcanes, como el Popocatépetl, la sagrada «montaña humeante» de los aztecas.(7)

Y no son solo las cuencas deprimidas a los pies de cordilleras elevadas por colisiones continentales las que contienen tierra cultivable rica. Los volcanes producen también suelo agrícola fértil. Surgen en una línea amplia alejada unos cien kilómetros de la línea de subducción, allí donde una de las placas se hunde más profundamente en el caliente interior y se funde, liberando burbujas de magma que ascienden para alimentar las erupciones más arriba, en la superficie. Las civilizaciones del Mediterráneo, como los griegos, los etruscos y los romanos, surgieron en zonas de rico suelo volcánico en la banda en la que la placa Africana se subduce bajo las placas menores que constituyen la región

Mediterránea.[42]

Las tensiones tectónicas también mantienen abiertas fracturas en rocas o empujan hacia arriba bloques de corteza en lo que se conoce como «falla cabalgante», que a menudo crea manantiales de agua. La extensa línea de montañas conectadas a lo largo de Eurasia meridional, compactadas por la colisión de las placas africana, arábiga e india, coincide con la banda árida que recorre la superficie de la Tierra. Esta incluye los desiertos Arábigo y de Thar, y es creada por la porción descendente y seca de circulación en la atmósfera (a la que volveremos en el capítulo 8). Aquí estas fallas cabalgantes suelen hallarse en la unión entre desiertos estériles y bajos y montañas o mesetas elevadas e inhóspitas, de modo que las rutas comerciales suelen recorrer estos límites geológicos. Pueblos que jalonan el camino acomodan a los mercaderes viajeros, cuya sed sacian los manantiales situados a los pies de las montañas.[43] No obstante, aunque los movimientos tectónicos pueden proporcionar fuentes de agua en ambientes que de otro modo serían áridos, estos asentamientos son también vulnerables a terremotos destructivos con cada nuevo deslizamiento de la corteza.[44]

En 1994, la pequeña aldea de Sefidabeh, en el desierto del sudeste de Irán, resultó totalmente destruida por un terremoto. Lo más curioso era que Sefidabeh es una localidad absolutamente remota: una de las pocas paradas de una extensa ruta comercial hasta el océano Índico, es el único asentamiento en cien kilómetros a la redonda. Y sin embargo, parece que el terremoto se centró en la aldea con una precisión asombrosa. Resulta que Sefidabeh había sido edificada justo sobre una falla cabalgante situada a gran profundidad; a tanta que no había creado en la superficie ninguna señal evidente de su existencia, como un escarpe revelador, de modo que no había sido identificada con anterioridad por los geólogos. Visto en retrospectiva, la única señal era una cresta nada notable, suavemente plegada, que corría a lo largo del pueblo, y que se había estado formando poco a poco a lo largo de cientos de miles de años de movimientos telúricos. El asentamiento había crecido allí porque este continuo cabalgamiento

tectónico mantenía fontanas en la base de la cresta, las únicas fuentes de agua en kilómetros a la redonda. La falla tectónica había creado las condiciones que permitían la vida en el desierto, pero también tenía el potencial de matar.[45]

Los manantiales que proporcionan estas fallas cabalgantes han sido usados durante miles de años, y explican la localización de muchos asentamientos antiguos en límites tectónicos. Sin embargo, en el mundo moderno se están convirtiendo cada vez más en un motivo de preocupación. La capital de Irán, Teherán, empezó como una agrupación de pequeños pueblos en una ruta comercial importante en la base de la cordillera de Elburz. La ciudad creció con rapidez a partir de la década de 1950, y en la actualidad está densamente habitada, con una población de más de ocho millones de residentes que supera los diez millones durante las horas laborables.[46] Pero los pequeños pueblos comerciales que ocuparon al principio este lugar a lo largo de los siglos se vieron dañados de forma repetida o totalmente destruidos por las sacudidas de terremotos, pues esta falla cabalgante se mueve para mitigar el estrés tectónico creciente. La ciudad de Tabriz, situada al noroeste de Teherán, siguiendo la cordillera, fue devastada por terremotos en 1721 y 1780, cada uno de los cuales mató a más de cuarenta mil personas en una época en que la población de cualquier ciudad era solo una fracción minúscula de la actual. Si otro gran terremoto sacude esta falla cabalgante —o, más bien dicho, cuando lo haga—, los efectos sobre Teherán podrían ser devastadores. La gente se ha instalado en estas fallas cabalgantes durante milenios, atraída por las reservas de agua que crean y por las rutas comerciales que recorren el límite del paisaje, y las grandes ciudades modernas que se han desarrollado allí son ahora particularmente vulnerables debido a esta herencia geológica.[47]

Somos hijos de la tectónica de placas. En la actualidad, algunas de las mayores ciudades del mundo se asientan sobre fallas tectónicas, y de hecho muchas de las primeras civilizaciones de la historia surgieron a lo largo de los límites de las placas que constituyen la corteza de la Tierra. Y, algo más fundamental todavía, los procesos tectónicos en África oriental fueron cruciales

para la evolución de los homininos y para forjar nuestra especie particularmente inteligente y adaptable. Volvamos ahora al peculiar periodo de la historia de nuestro planeta que permitió a la humanidad migrar desde nuestro lugar de nacimiento en el gran valle del Rift y llegar a dominar todo el globo.

2

Derivadores continentales

Vivimos en la actualidad en una era geológica algo peculiar. Se trata de una época que se caracteriza por un único rasgo dominante, el hielo. Esto puede parecer sorprendente dada nuestra preocupación actual por el cambio climático. Que la temperatura media ha ido en aumento desde la Revolución industrial, y de manera particularmente rápida a lo largo de los últimos sesenta años, es cierto sin duda. Pero este salto reciente causado por la actividad humana tiene lugar dentro del periodo temporal de la glaciación a largo plazo del periodo Cuaternario. Hace unos 2,6 millones de años, al principio del último periodo geológico, la Tierra se deslizó hacia un nuevo régimen climático, caracterizado por el pulso de edades de hielo recurrentes. Estas condiciones han tenido efectos profundos en el mundo actual y en cómo lo ocupamos.

En la actualidad estamos viviendo en un periodo interglacial, con condiciones relativamente cálidas, casquetes de hielo cada vez menores y, en consecuencia, niveles del mar más elevados. Pero las condiciones habituales a lo largo de los últimos 2,6 millones de años han sido mucho más frías que hoy en día. Quizá estemos familiarizados, gracias a exposiciones en museos o documentales televisivos, con el aspecto que tenía el mundo en la última edad de hielo, una época en que casquetes de hielo inmensos ocupaban gran parte del hemisferio norte, mamuts lanudos avanzaban a grandes zancadas por un paisaje como la tundra y eran presa de tigres de dientes de sable, y los humanos del Paleolítico, vestidos con pieles, cazaban con lanzas de punta de piedra.

Pero esta fue solo la última fase de la glaciación en nuestra historia planetaria

reciente. Ha habido entre cuarenta y cincuenta edades de hielo a lo largo de los últimos 2,6 millones de años,[1] y cada vez se han vuelto más prolongadas y más frías. De hecho, el Cuaternario es una época excepcionalmente inestable para el clima del planeta,[2] que ha ido oscilando entre rigurosas edades de hielo e intervalos interglaciales más cálidos, que impulsaban la expansión y contracción periódicas de enormes casquetes de hielo. Los congelamientos duran por término medio 80.000 años y las pausas entre las edades de hielo, más cortas, solo unos 15.000 años.[3] Cada periodo interglacial, como la época actual, el Holoceno, en la que entramos hace 11.700 años, no es más que un breve interludio térmico antes de que el clima se hunda de nuevo en otro episodio gélido. Veremos más adelante por qué nuestro planeta ha entrado en esta fase climática errática, pero consideremos primero las condiciones de la última edad de hielo.

Tiempos fríos

Esta empezó hace unos 117.000 años y duró unos 100.000 años, hasta el inicio del periodo interglacial actual del Holoceno.[4] En su apogeo, hace entre 25.000 y 22.000 años, inmensos casquetes de hielo de hasta cuatro kilómetros de espesor[5] se extendieron desde el norte para asfixiar el norte de Europa y América. Otro casquete más pequeño se expandió por Siberia y grandes glaciares se desplegaron desde cordilleras como los Alpes, los Andes y el Himalaya, así como desde el espinazo irregular de Nueva Zelanda.

Estos casquetes de hielo expansivos retuvieron enormes cantidades de agua, y el nivel del mar en todo el mundo descendió hasta 120 metros, dejando así al descubierto, como terreno seco, gran parte de las plataformas continentales alrededor de los márgenes de las grandes masas de tierra. Los casquetes de hielo norteamericano, groenlandés y escandinavo se extendieron hasta el borde mismo de estas plataformas continentales, y los mares que las rodeaban debían de estar cubiertos por capas de hielo flotante.[6]

Al igual que hallarse cerca de los casquetes de hielo suponía experimentar un frío riguroso, la reducida evaporación de los mares glaciales hacía que el mundo fuera mucho más seco. Vientos ululantes transportaban violentas tormentas de polvo por las áridas llanuras.[7] Gran parte del paisaje de Europa y Norteamérica debía de ser como la tundra actual, con el suelo subyacente helado durante todo el año (permafrost) y con estepas secas y herbáceas extendiéndose hacia el sur hasta donde alcanzaba la vista. Muchos de los árboles que en la actualidad crecen por toda Europa sobrevivieron solo en refugios aislados alrededor del Mediterráneo. Hace 20.000 años, los densos bosques y las áreas forestales de la actual Centroeuropa debían de parecerse, en cambio, al paisaje de la Siberia septentrional de hoy.[8]

Con el final de cada edad de hielo, el nivel de los océanos volvía a subir y estos inundaban las plataformas continentales. El clima interglacial que retornaba veía los ecosistemas de todo el mundo extenderse de nuevo hacia los polos, siguiendo la mejora de las condiciones tras los casquetes de hielo en retirada. Las migraciones son comunes en el reino animal (las aves que vuelan hacia el sur para pasar allí el invierno o las grandes manadas de ñus que se extienden como una marea a través del Serengueti), pero los bosques también migran. Desde luego, los árboles no pueden desarraigarse y desplazarse, pero, a medida que el clima se vuelve más cálido, las semillas y los pimpollos sobreviven un poco más al norte cada año, y con el paso del tiempo, el bosque acaba desplazándose (como la profecía formulada en *Macbeth*). Se estima que, después de la última edad de hielo, las especies de árboles en Europa y Asia migraron hacia el norte a un ritmo medio de unos cien metros por año.[9] Los animales los siguieron, tanto los herbívoros que se alimentan directamente de las plantas como los depredadores que a su vez siguen a aquellos. Las edades de hielo recurrentes han obligado al movimiento de animales y plantas hacia el norte y hacia el sur como una marea viva.

Las edades de hielo varían en cuanto a intensidad, y los periodos interglaciales tampoco son todos iguales.[10] El último, que tuvo lugar hace entre 130.000 y

115.000 años, fue en general más cálido que el actual. Las temperaturas eran al menos 2 ºC superiores a las actuales; el nivel del mar, unos cinco metros más elevado, y el tipo de animales que asociaríamos con África merodeaban por toda Europa. Cuando unos trabajadores de la construcción excavaban a finales de la década de 1950 en Trafalgar Square, en el centro de Londres, descubrieron los restos de grandes animales (rinocerontes, hipopótamos y elefantes, así como leones), todos los cuales databan de este periodo interglacial previo.[11] En la actualidad, a la sombra de la Columna de Nelson, los turistas se dedican a fotografiarse con las estatuas de bronce de los leones que montan guardia en las esquinas. ¿Cuántos de ellos son conscientes de que durante el último interglaciar habrían tenido que estar alerta para advertir la presencia de leones de verdad?

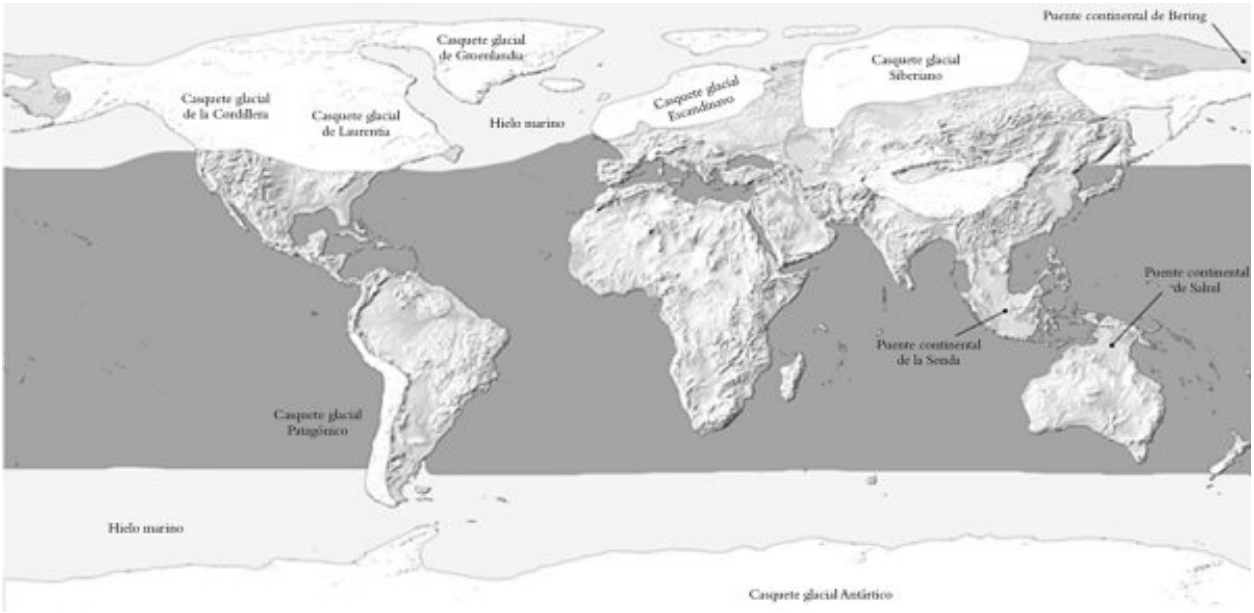


FIGURA 3. La Tierra en la Edad de Hielo; se muestran los principales casquetes glaciales continentales y los niveles del mar, 120 metros por debajo de los actuales.

Pero, a pesar de las breves etapas más cálidas que permitieron que estos animales se expandieran, el Cuaternario es esencialmente una larga edad de hielo; incluso durante los periodos interglaciales, gruesos mantos de hielo siguen cubriendo los polos. Veamos ahora qué es lo que ha ocurrido en la Tierra a lo

largo de la historia planetaria reciente para que surja este clima frío y fluctuante. Ocurre que la pauta recurrente de estas edades de hielo tiene causas cósmicas; puede explicarse por los cambios en la inclinación de la Tierra en relación con el Sol en su trayectoria orbital.

El reloj celeste

Si la Tierra girara vertical por completo no habría estaciones. La inclinación del eje del planeta implica que durante medio año el hemisferio norte recibe más calor que su contraparte austral cuando se ladea hacia el Sol (que aparece alto en el cielo y cuyos rayos inciden más directamente sobre la superficie) para crear el verano. La situación se invierte seis meses después para dar lugar al invierno boreal y, por consiguiente, al verano austral. La Tierra tampoco se desplaza alrededor del Sol en un círculo perfecto; su trayectoria orbital se alarga un poco hasta adquirir una forma ovalada conocida como «elipse». En cierto punto de su órbita de un año de duración, la Tierra se halla algo más cerca del Sol, y seis meses después se encuentra algo más alejada.(8)

Para complicar todavía más las cosas, estas características de nuestro mundo y su órbita cambian también a lo largo del tiempo, de resultas de los efectos gravitatorios de los demás planetas del sistema solar (especialmente del gigantesco Júpiter). Existen tres maneras importantes en que las circunstancias cósmicas de la Tierra varían, las cuales dan lugar al conjunto de ciclos celestes que he presentado de un modo breve en el capítulo anterior. En primer lugar, nuestra órbita alterna entre una forma más circular y otra más alargada durante un ciclo de «excentricidad» de unos 100.000 años. En segundo lugar, aproximadamente cada 41.000 años la inclinación de la Tierra en relación con el Sol oscila entre 22,2º y 24,5º, lo que hace que los polos se acerquen o se alejen de él. Esta inclinación tiene un fuerte efecto sobre la intensidad de las estaciones, de modo que incluso un minúsculo cambio del ángulo supone que el Ártico

reciba algo más o algo menos de calor en verano. Por último, el tercer ciclo, el más corto de todos ellos, es de 26.000 años, en el transcurso de los cuales el eje del planeta gira en un círculo como una peonza en rotación bamboleante. Este proceso se conoce como «precesión» y cambia las épocas del año en que los hemisferios norte y sur se hallan inclinados hacia el Sol, y con ello la cadencia de las estaciones (también se denomina «precesión de los equinoccios»). En estos momentos el Polo Norte apunta hacia la estrella llamada Polar (algo que resulta muy útil para los navegantes, como veremos en el capítulo 8), pero dentro de unos 12.000 años el giro del eje de la Tierra habrá oscilado hasta apuntar hacia una nueva estrella septentrional, Vega, y el verano en el hemisferio norte caerá en lo que ahora denominamos diciembre.

De modo que tanto la elongación, la inclinación y el bamboleo de la Tierra como su órbita tienen efectos sobre el clima del planeta, y varían cíclicamente a lo largo del tiempo. Estas variaciones periódicas son los ciclos de Milankovitch, que he mencionado brevemente en el capítulo anterior y llevan el nombre del científico serbio que fue el primero en calcular cómo modifican el clima de la Tierra. Los ciclos de Milankovitch no reducen la cantidad total de radiación solar que recibe la superficie terrestre a lo largo de la órbita de un año, sino que cambian la distribución del calor del Sol entre los hemisferios norte y sur, y por lo tanto la intensidad de las estaciones.

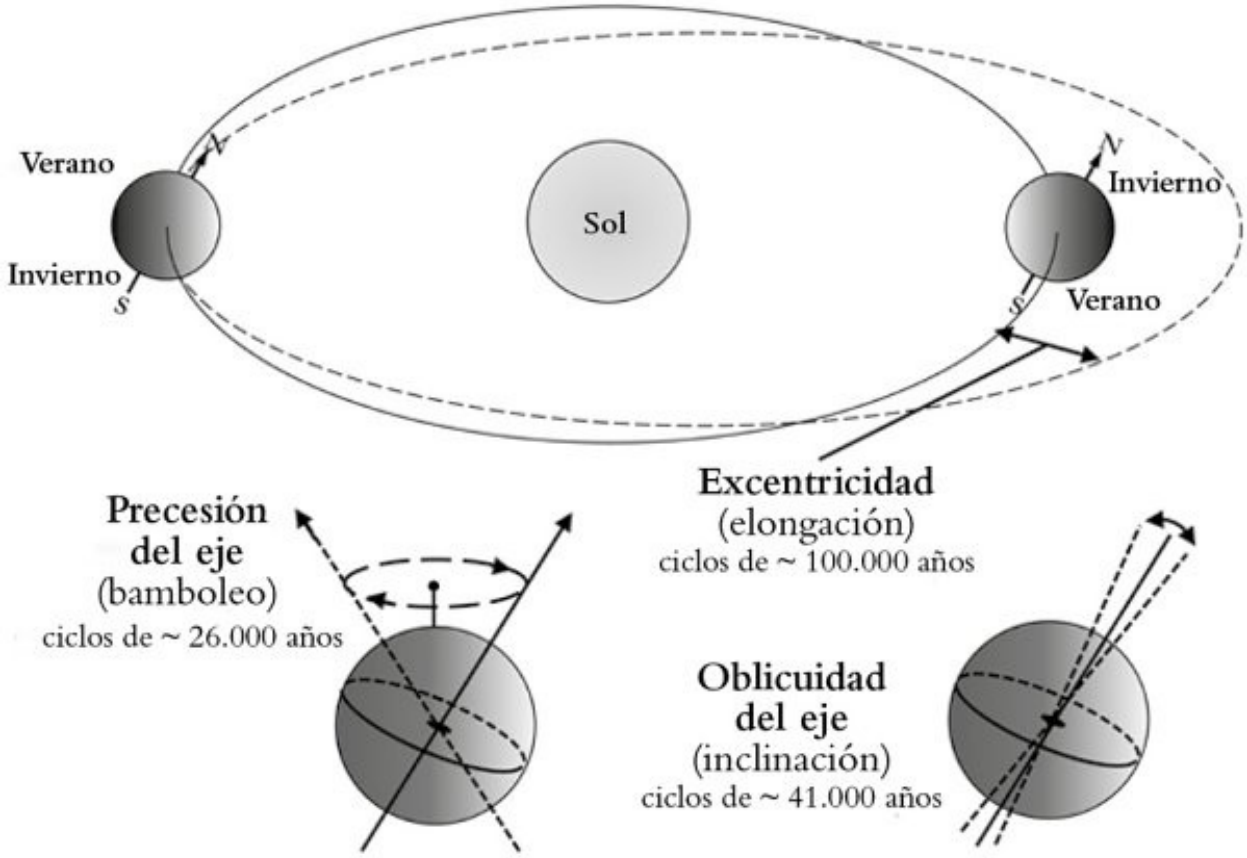


FIGURA 4. Los ciclos de Milankovitch: variaciones en la órbita y la inclinación axial de la Tierra que afectan a nuestro clima.

Contrariamente a lo que pueda pensar intuitivamente el lector, el factor clave que desencadena las edades de hielo no es lo frío que el Ártico sea en invierno, sino lo fresco que sea el verano. Un periodo de veranos más fríos en el norte conlleva que la nieve nueva caída en cada invierno no se derrita por completo, de modo que puede acumularse año tras año.[12] Un verano ártico más fresco suele significar un invierno más cálido, y esto también puede favorecer el aumento de los casquetes polares; una mayor evaporación fruto de unos mares más cálidos producirá más nevadas. La excentricidad de la órbita de la Tierra en particular actúa como un amplificador sobre los efectos de la dirección de su eje cuando este precede siguiendo una trayectoria circular. Por ejemplo, cada vez que estos dos ciclos concuerdan, de modo que el punto de nuestra órbita cuando el Polo Norte se inclina hacia el Sol coincide con el punto más alejado de la

Tierra en su circuito elíptico, el Ártico experimenta veranos insólitamente frescos. De resultas de ello, el hielo invernal no se derretirá por completo y empezará a acumularse. El planeta empezará, pues, a adentrarse en otra edad de hielo.

La Tierra permanece atascada en dicho estado, caracterizado por un mayor blanqueo que refleja gran parte del calor del Sol, hasta que los ciclos de Milankovitch vuelven a la situación anterior para inyectar más calor al norte y los casquetes glaciales se derriten y vuelven a retirarse.[13] La fusión del hielo al final de cada periodo glacial es siempre mucho más rápida que la congelación del inicio. Cuando los ciclos de Milankovitch actúan para caldear de nuevo el hemisferio norte, el océano libera más dióxido de carbono y más vapor de agua; ambos son gases de efecto invernadero, de modo que amplifican el calentamiento. El aumento del nivel del mar también socava los bordes de los casquetes de hielo, y cuando estos se funden queda expuesta una mayor superficie de tierra y mar, que absorbe más radiación solar que el brillante hielo blanco.[14] De ahí que el ritmo de las edades de hielo lo marque un lento deslizamiento hacia condiciones gélidas, seguido de una rápida desglaciación.

Desde el inicio de este periodo de cámara frigorífica hace unos 2,6 millones de años, el pulso de las edades de hielo siguió el ritmo de 41.000 años del ciclo de Milankovitch de la inclinación de la Tierra, pero, por razones que todavía no están claras, hace aproximadamente 1 millón de años dicho ritmo cambió y pasó a caracterizarse por oscilaciones más lentas pero más extremas que seguían el ciclo de excentricidad de 100.000 años de la órbita de la Tierra que se alarga.[15] Las edades de hielo se sincronizaron con el ritmo de un tambor distinto,[16] de uno que bate más lento pero más fuerte. Cada una de ellas se volvió más intensa y duró más tiempo; mayores casquetes glaciales del Polo Norte pudieron avanzar directamente sobre las masas continentales de Eurasia y Norteamérica, y no se derritieron del todo durante los periodos cálidos interglaciales.[17] (El casquete de la Antártida también crece y disminuye, aunque en mucha menor medida.[18])

Así pues, en este sentido los astrólogos están en lo cierto... pero no de la manera que creen. El movimiento de los demás planetas por los cielos no determina nuestro humor o nuestra suerte, pero sus efectos gravitatorios sobre nuestro mundo sí que influyen en algo mucho más profundo: el clima de la Tierra. Comprender el reloj celeste que ha regulado el tictac de estas edades de hielo durante los últimos millones de años es bastante sencillo, pero los sutiles efectos de los ciclos de Milankovitch solo pueden desencadenar oscilaciones repetidas entre las fases de edad de hielo y las interglaciales si el clima del mundo ya se halla de manera inestable justo al borde de una glaciación. Así, la gran pregunta es: ¿qué es lo que causó, en primer lugar, estas condiciones de cámara frigorífica?

De invernadero a cámara frigorífica

En este momento, la Tierra se encuentra en un periodo extraño de su vida. Durante aproximadamente el 80-90 por ciento[19] de su existencia, nuestro planeta ha sido mucho más cálido de lo que es en la actualidad; los periodos con casquetes de hielo en los polos son en realidad una especie de rareza. A lo largo de los últimos 3.000 millones de años ha habido quizá solo seis eras con una cantidad importante de hielo sobre el planeta,[20] pero en los últimos 55 millones de años la Tierra ha experimentado un enfriamiento continuo y ha dejado de ser un invernadero para convertirse en una cámara frigorífica. Esto recibe el nombre de «enfriamiento del Cenozoico», por la era geológica en que ocurrió.

El pastel de capas de diferentes rocas que tenemos bajo los pies permite a los geólogos dividir la larga historia de nuestro planeta en diferentes eras, periodos y épocas, a menudo haciendo referencia a los tipos de fósiles que se encuentran en ellos, como capítulos y párrafos del libro del tiempo. La era actual, dominada por mamíferos y plantas angiospermas (volveremos a la fauna y la flora de

nuestro planeta en el capítulo 3), se denomina Cenozoico, que significa «nueva vida» y se inició hace 66 millones de años con la extinción en masa de especies que señalaron el fin del Mesozoico («vida media»), era que estuvo caracterizada por los dinosaurios. El periodo más reciente dentro del Cenozoico es el Cuaternario, que se distingue por el clima fluctuante de las glaciaciones y las fases interglaciales que acabo de mencionar. Si hilamos más fino aún, la última época del Cuaternario es el Holoceno, nuestro periodo interglacial actual, que incluye toda la historia de la civilización humana.

Al final del Cretácico, justo antes de la extinción en masa de hace 66 millones de años que acabó con los dinosaurios, el mundo era cálido y húmedo, con bosques frondosos que crecían incluso en las regiones polares. El nivel del mar era quizá hasta 300 metros más elevado que hoy en día, y la mitad de la zona continental de la Tierra estaba sumergida; solo el 18 por ciento del planeta debía de ser tierra emergida en aquel entonces.[21] Esta fase cálida continuó durante los 10 millones de años siguientes, y alcanzó su apogeo en el Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno (evaluaremos su importancia en el capítulo 3), hace 55,5 millones de años, antes de que el clima global iniciara un enfriamiento continuo. Hace unos 35 millones de años, aparecieron los primeros casquetes glaciales permanentes en la Antártida,[22] hace unos 20-15 millones de años empezaron a formarse otros sobre Groenlandia, y al principio del Cuaternario el enfriamiento había superado el umbral para que el casquete del Polo Norte empezara a expandirse. Entramos entonces en la fase actual de edades de hielo pulsantes. [23]

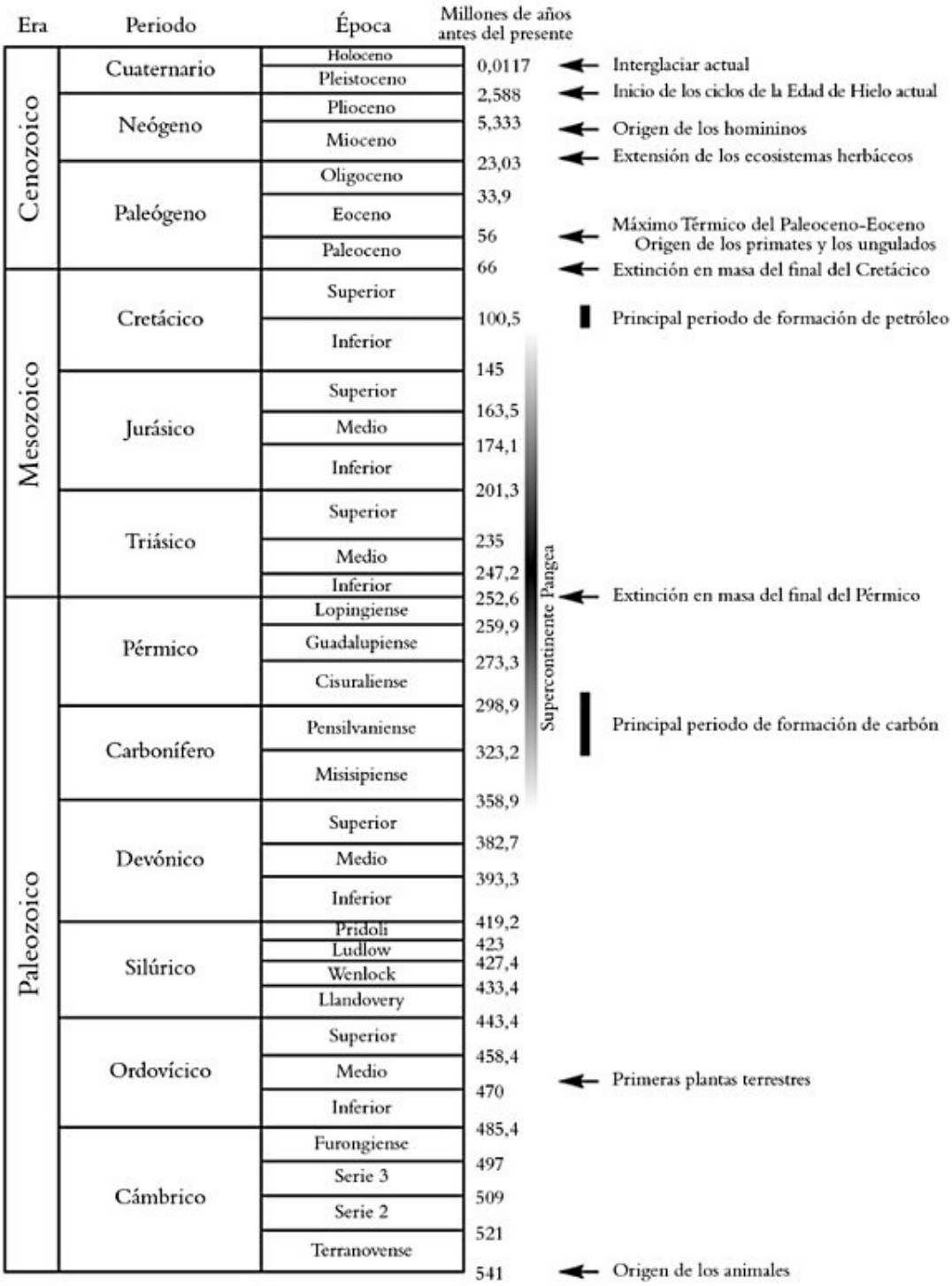


FIGURA 5. Divisiones de la historia geológica de la Tierra.

Parece que la Tierra se ha comprometido en un esfuerzo concertado para enfriarse. ¿Qué procesos planetarios a gran escala han estado conspirando para

impulsar este enfriamiento global?

Gases como el dióxido de carbono y el metano, así como el vapor de agua, actúan en la atmósfera como los cristales de un invernadero; permiten que la radiación solar visible, de longitud de onda corta, pase a través de ellos y caldee la Tierra, pero impiden el paso de la radiación infrarroja, de longitud de onda más larga, que emite la superficie cálida del planeta. El efecto de estos gases de efecto invernadero es atrapar energía térmica e impedir que retorne al espacio, y de este modo aislar el planeta, lo que conduce a mayores temperaturas. Cualquier mecanismo que reduzca la cantidad de estos gases de efecto invernadero en el aire conducirá por lo tanto a un enfriamiento global.

Hace 55 millones de años, como hemos visto en el capítulo anterior, el baile de los continentes impulsó a India a empezar a chocar con Eurasia y levantar la enorme cordillera del Himalaya. Desde entonces, este enorme sistema montañoso ha sido erosionado vigorosamente por glaciares de gran altitud y por la lluvia. Los minerales de las rocas reaccionan con el dióxido de carbono disuelto en el agua de lluvia, que después fluye en ríos hasta el océano, donde es aprovechado por los organismos marinos para construir sus caparazones y conchas de carbonato cálcico. Cuando estos organismos mueren, sus esqueletos caen al fondo del mar y allí acaban enterrados. Así, el Himalaya está siendo descompuesto gradualmente, grano a grano, y en el proceso se le arrebata dióxido de carbono a la atmósfera. Aunque este es un mecanismo potente para extraer CO_2 del aire, pasaron unos 20 millones de años hasta que los elevados niveles de este gas de efecto invernadero del periodo Cretácico se redujeron hasta por debajo del umbral en que el mundo se volvió lo bastante frío para que se empezara a formar hielo en los polos.[24]

Mientras el joven Himalaya se erosionaba, la deriva continental arrastró a la Antártida a su posición actual sobre el Polo Sur, y Australia y Sudamérica cabalgaron hacia el norte. Esto aisló a la Antártida y abrió una ruta expedita alrededor del polo, un gran foso oceánico que rodeaba completamente el

continente austral. Quedó establecida una fuerte corriente oceánica que circulaba alrededor de la Antártida, y ello impidió que otras más cálidas procedentes del ecuador alcanzaran las costas antárticas, lo que mantuvo congelado el continente. El primer casquete de hielo permanente empezó a formarse en la Antártida hace unos 35 millones de años.[25]

La tectónica de placas también redistribuyó los demás continentes al empujar a la mayor parte de la masa de tierra hacia el hemisferio norte, mientras que la mitad meridional del mundo se convirtió principalmente en océano abierto (una característica a la que volveremos cuando consideremos los potentes vientos Rugientes Cuarenta en el capítulo 8). Durante los últimos 30 millones de años, más o menos el 68 por ciento del hemisferio norte lo han conformado continentes, al tiempo que al sur del ecuador solo ha habido una tercera parte de la masa emergida de la Tierra.[26]

Esta división del mundo en un yin y un yang (un hemisferio norte dominado por las tierras emergidas y una mitad austral oceánica) amplifica los efectos de las variaciones estacionales de calor procedentes del Sol. La tierra se enfría mucho más deprisa en invierno que la turbulenta agua del océano, y es mucho más capaz de sostener casquetes de hielo gruesos y en aumento. Pero, aunque en general es cierto que hay más masa continental en el hemisferio norte, el polo en el hemisferio sur tiene un continente (la Antártida) que se halla situado directamente sobre él, mientras que el Polo Norte es mar. Esto explica por qué el Polo Sur quedó cubierto por un casquete glacial mucho antes que su equivalente septentrional. En el Polo Norte, donde el hielo se derrite con mayor facilidad en el océano, no fue hasta hace 2,6 millones de años cuando el clima se volvió lo suficientemente frío para que el hielo no se fundiera todos los veranos y se acumulara de año en año.

El factor geológico definitivo que creó las actuales condiciones de cámara frigorífica fue la formación del istmo de Panamá. Esta estrecha lengua de tierra que une Norteamérica y Sudamérica fue también el resultado de una colisión continental, cuando la subducción de una de las placas produjo primero una serie

de islas volcánicas y después elevó el fondo marino por encima de las olas. El cierre de la conexión entre los océanos Pacífico y Atlántico tuvo lugar hace 2,8 millones de años[27] y desvió la corriente ecuatorial hacia el norte, reforzando la del Golfo, que transporta agua cálida a las masas continentales que bordean el Atlántico Norte. Aunque esta corriente de agua cálida pudo haber retrasado algo la glaciación en el norte, la humedad global adicional en el aire fruto de la evaporación ocasionó una mayor precipitación de nieve en invierno y promovió por tanto el crecimiento de los casquetes polares en el hemisferio norte.[28]

A medida que se formaban, primero en el Polo Sur y después en el Polo Norte, los casquetes polares contribuyeron a un enfriamiento adicional, pues su brillante superficie blanca reflejaba más luz del sol al espacio; un efecto de bola de nieve que los científicos denominan «bucle de retroalimentación». Y a medida que los mares se volvían más fríos podían contener más dióxido de carbono disuelto procedente del aire, lo que hizo bajar más todavía los niveles atmosféricos y redujo el efecto invernadero.[29]

Las consecuencias de la formación de montañas y la posterior erosión que eliminaba dióxido de carbono atmosférico, la tectónica de placas que aisló a la Antártida en el Polo Sur y formó el istmo de Panamá para alterar los patrones de circulación oceánica, y la deriva continental que empujó la mayor parte del resto de las masas continentales a uno de los hemisferios fueron todos ellos factores que se combinaron para impelernos a las condiciones de una cámara frigorífica. El enfriamiento de nuestro planeta hasta el estadio en el que se formaron grandes casquetes de hielo el norte hace 2,6 millones de años fue un umbral crítico y todo el clima pasó a un estado inestable. Ahora, cada vez que los ciclos de Milankovitch actuaban para enfriar un poco el Polo Norte, el casquete de hielo se extendía sobre Europa, Asia y Norteamérica, y estos grandes continentes septentrionales pudieron dar cabida a gruesos casquetes de hielo. Incluso un pequeño aumento de la extensión del blanco hielo reflejaba más luz solar, lo que provocaba un mayor enfriamiento y ponía así en marcha un proceso desbocado según el cual los casquetes se expandían todavía más y retenían más agua

procedente de los océanos, lo que producía un descenso del nivel del mar.

Esta tendencia continua al enfriamiento del mundo a lo largo de los últimos 55 millones de años del Cenozoico ha tenido una profunda influencia sobre el planeta y sobre nuestra evolución. Tal como hemos visto en el capítulo anterior, el paso a unas condiciones más frías y más secas redujo los bosques de África oriental y los sustituyó por praderas, que impulsaron el desarrollo de los homininos. Y las rápidas fluctuaciones de los lagos amplificadores del valle del Rift, que nos condujeron a convertirnos en una especie muy versátil e inteligente, fueron causadas por el ritmo de precesión de los ciclos de Milankovitch.

Tras empezar hace aproximadamente 100.000 años, una alineación planetaria se iba asentando. La inclinación del eje de la Tierra que causa el verano en el hemisferio norte empezó a coincidir con la época en que el planeta se halla más alejado del Sol en su órbita elíptica, lo que significó que los veranos septentrionales se volvieron cada vez más fríos. El hielo de cada invierno no se derretía de nuevo, sino que se acumulaba. Los casquetes de hielo septentrionales empezaron a crecer y a expandirse hacia el sur, y la Tierra se adentraba en otra edad de hielo.

Veamos ahora cómo esta edad de hielo más reciente, y la consiguiente caída de los niveles globales del mar, proporcionaron asimismo una oportunidad crucial para que pudiéramos diseminarnos por todo el mundo. Todos somos hijos de África, pero no permanecimos en nuestra cuna.

Éxodo

Hace unos 60.000 años, nuestros antepasados empezaron a dispersarse fuera de África. Es difícil saber exactamente qué rutas tomamos por el planeta o la época precisa en que llegamos por primera vez a zonas nuevas, porque el registro fósil es muy desigual y suele ser complicado concretar, a partir de la evidencia

arqueológica, la rama de los homininos que dejó el continente africano. De modo que la mayoría de nuestros conocimientos de la expansión de la humanidad proceden del estudio de la genética de poblaciones indígenas que viven por todo el mundo en la actualidad. Mediante el análisis del ADN, y una vez capaces de estimar la tasa a la que se acumulan mutaciones en el código genético, podemos deducir cuánto tiempo hace que diferentes poblaciones divergieron unas de otras. La cartografía de esta variación genética por todo el globo nos permite deducir cuándo llegaron por primera vez los humanos a diferentes regiones, y así podemos seguir las antiguas rutas de migración.

Dos tipos principales de ADN han sido muy útiles en este trabajo detectivesco. En el interior de cada una de nuestras células hay estructuras diminutas denominadas «mitocondrias», que desencadenan las reacciones bioquímicas necesarias para suministrar energía. Estas mitocondrias son las centrales energéticas de la célula, y contienen su propio y pequeño bucle de ADN. Cuando fuimos concebidos, heredamos estos orgánulos del óvulo de nuestra madre, pero ninguno procede del espermatozoide de nuestro padre; el ADN mitocondrial se transmite continuamente por la línea materna, de madre a hija. Analizar la genética del ADN mitocondrial y calcular el tiempo que tardaron las diferentes poblaciones en separarse unas de otras, nos permite retroceder en el tiempo hasta donde convergen: aquella mujer concreta del pasado remoto que resulta ser la madre ancestral de todas las personas que están vivas en la actualidad. Este antepasado común matrilineal más reciente ha recibido el nombre de Eva mitocondrial, y vivió en África hace unos 150.000 años. Si, en cambio, consideramos el ADN que se encuentra en el cromosoma Y, y que solo se transmite de padre a hijo, podemos retroceder en el tiempo hasta el antepasado masculino más reciente, apodado Adán del cromosoma Y. Poner fecha a este árbol genético es más incierto, pero se cree que el antepasado común masculino vivió hace entre 200.000 y 150.000 años.

Esto no significa que en aquella época hubiera solo una mujer y un hombre vivos, o de hecho que la mujer y el hombre que eran nuestros antepasados

comunes más recientes se encontraran nunca; vivían en épocas y lugares diferentes. En realidad, sería una coincidencia asombrosa que el linaje de la hembra mitocondrial resultara remontarse a la misma época que el linaje del hombre del cromosoma Y. (En este sentido, los apodos bíblicos son engañosos.) La única importancia de la Eva mitocondrial (así como del Adán del cromosoma Y) es que tan solo parió hijas que a su vez tuvieron hijas, y así sucesivamente siguiendo el linaje hasta todas las personas que están vivas en la actualidad; por casualidad, los demás linajes del árbol genealógico se extinguieron o no tuvieron hijas.

El resultado más sorprendente que se obtiene de estos estudios genéticos globales es que la especie humana es sumamente uniforme. A pesar de las diferencias regionales superficiales en el color del pelo y de la piel, o en la forma del cráneo, la diversidad genética entre los 7.500 millones de humanos que viven hoy en día en el mundo es asombrosamente baja.[30] En realidad, hay más diversidad genética entre dos grupos de chimpancés que viven en orillas opuestas de un río de África central que entre humanos que vivan en rincones opuestos del mundo.[31] Sin embargo, la diversidad genética humana es mayor dentro de África, de modo que, aun cuando no hubiéramos descubierto nunca huesos fosilizados ni pruebas arqueológicas antiguas y solo tuviéramos el ADN de humanos modernos para trabajar, seguiría siendo evidente que nuestros orígenes están en ese continente y que nos dispersamos partiendo de allí. Además, estos estudios genéticos sugieren que la humanidad que se distribuye en la actualidad por el mundo desciende de un único éxodo desde África más que de múltiples oleadas migratorias, y probablemente de no más de unos pocos miles de migrantes originales.[32]

Los humanos modernos, *Homo sapiens*, penetraron primero en la península Arábiga durante un cambio climático regional a condiciones más húmedas y un reverdecimiento de la zona,[33] ya fuera caminando hacia el norte a través de la península del Sinaí o tomando una ruta más meridional mediante almadías a través del estrecho de Bab- el-Mandeb.[34] A medida que nuestros antepasados

empezaron a expandirse en Eurasia, encontraron otras especies de homininos que ya habían abandonado África mucho antes. Los humanos modernos experimentaron cierto grado de entrecruzamiento con neandertales en Oriente Próximo, de modo que adquirimos una traza de su ADN y después lo llevamos con nosotros mientras poblábamos el resto del mundo;[35] en la actualidad supone alrededor del 2 por ciento del código genético de los no africanos.[36] El hecho de que los asiáticos orientales modernos resulten tener más ADN neandertal que los europeos sugiere que los humanos se mezclaron con los neandertales en al menos otra ocasión a medida que migraban hacia el este a través de Eurasia.

Parece que tuvieron lugar más entrecruzamientos con otra especie de hominino desaparecida y misteriosa, los llamados denisovanos, cuando nos desplazábamos a través de Asia central. Solo sabemos de ellos a partir de unos pocos dientes y de fragmentos de un par de dedos que fueron descubiertos en una cueva de las montañas de Altái, en la frontera entre Siberia y Mongolia, y el análisis del ADN revela que probablemente eran una especie hermana de los neandertales.[37] Entre el 4 y el 6 por ciento del ADN de los habitantes modernos de Melanesia y Oceanía deriva de los denisovanos, que también hicieron una pequeña contribución al código genético de poblaciones americanas nativas.[38] Es increíble pensar que de toda una especie humana, que vivió junto a la nuestra hace solo unas pocas decenas de miles de años, únicamente tengamos conocimiento por unos pocos fragmentos de hueso y la traza de ADN que dejaron estampada en nuestro genoma. Una especie de hominino incluso anterior, *Homo erectus*, había salido de África hace casi 2 millones de años[39] y llegó hasta China e Indonesia, pero ya se había extinguido cuando la humanidad se propagó por Asia. No hay ningún pueblo indígena de los que quedan en África que porte ADN de los neandertales ni de los denisovanos.

Cada vez que los primeros migrantes humanos alcanzaban una nueva zona, su población aumentaba y sus descendientes continuaban diseminándose. La región que ahora ocupan Irak e Irán actuó como un importante centro de dispersión, con

corrientes migratorias que se dirigieron hacia Europa, el resto de Asia y Australia, y las Américas.[40] Parece probable que los humanos se dirigieran primero hacia el este, siguiendo el borde meridional de Eurasia hasta India y el Sudeste Asiático;[41] una derivación inicial de esta ruta los condujo a Europa hace unos 45.000 años.[42] La migración hacia el este se dividió en dos rutas, una a cada lado del Himalaya, como un río que fluye alrededor de una roca; la primera se dirigió al norte a través de Siberia y por último hacia las Américas, y la segunda tomó una dirección meridional a través del Sudeste Asiático en dirección a Australia. Parece que la propagación a través del sur de Asia fue relativamente rápida, es posible que debido a la semejanza del clima con el de nuestro hogar ancestral en el África subsahariana, y alcanzamos el Sudeste Asiático y China hace unos 50.000-45.000 años.[43]

Desde la península Indochina cruzamos a Nueva Guinea y Australia hace unos 40.000 años.[44] Con unos niveles del agua de los océanos más de cien metros más bajos que en la actualidad debido a las condiciones de la Edad de Hielo, los mares someros que rodean a Indonesia quedaban expuestos como tierra emergida. El archipiélago indonesio se convirtió en parte de una extensión del Sudeste Asiático conocida como Sondalandia, y Australia, Nueva Guinea y Tasmania estaban unidas como una única masa continental denominada Sahul. Estos dos continentes se hallaban uno frente al otro, separados por un estrecho mar jalonado de cadenas insulares, que ayudaron a nuestra migración hacia este rincón sudoriental del mundo.[45]

La lenta oleada de dispersión acabó por llegar al extremo nororiental de Eurasia, y fue allí donde las condiciones de la edad de hielo resultaron más cruciales para la migración humana; nos proporcionaron nuestra ruta de entrada a las Américas.

En la actualidad, las costas de Rusia y Estados Unidos están separadas por el estrecho de Bering, de ochenta kilómetros de ancho, con las dos islas Diómedes situadas directamente en medio de dicho canal marítimo.(9) Durante la última edad de hielo, con el descenso del nivel del mar, la tierra de Siberia y la de

Alaska debieron de acercarse, como los dedos extendidos de Adán y Dios que Miguel Ángel pintó en el techo de la Capilla Sixtina, hasta que finalmente entraron en contacto y los dos enormes continentes de Eurasia y las Américas se unieron. Este corredor de tierra debió de ampliarse hasta que, en el máximo glacial de hace unos 25.000 años, se extendía de norte a sur hasta un millar de kilómetros.

Aunque libre de casquetes de hielo, el puente continental de Bering debía de seguir siendo un entorno hostil: frío y seco, con dunas de cieno que los glaciares habrían erosionado y el viento habría aventado. El puente continental era poco más que un desierto ártico, pero provisto de suficiente vegetación resistente para ofrecer sustento a animales: mamuts lanudos, perezosos terrestres y bisontes esteparios, así como los tigres de dientes de sable que los depredaban.

Los humanos atravesaron este corredor de tierra y llegaron a América en algún momento posterior a hace 20.000 años.[46] Pero otros animales ya habían hecho la travesía en la dirección opuesta, hacia Eurasia, durante una edad de hielo anterior, y algunos de ellos resultarían fundamentales para las civilizaciones a lo largo de la historia. Tanto el camello como el caballo habían evolucionado en Norteamérica y cruzaron en dirección a Eurasia por el puente continental de Bering, y posteriormente se extinguieron en su región de origen. (Volveremos a la importancia de ello en el capítulo 7.)

Después de atravesar a pie el corredor hasta Alaska, la humanidad se abrió paso hacia el sur, a través de las Américas, a medida que retrocedían los casquetes de hielo. En aquella época, dos enormes extensiones de hielo, el casquete de la Cordillera y el de Laurentia, cubrían la mayor parte de Canadá y extensas zonas del norte de Estados Unidos. En su extensión máxima, el casquete de hielo de Laurentia era mayor que toda la cubierta de hielo de la Antártida en la actualidad, con una cúpula inmensa de hasta cuatro kilómetros de espesor sobre la bahía de Hudson.[47] Para rodear estos casquetes de hielo a fin de dirigirse hacia el sur, los migrantes quizá viajasen por la costa occidental, o bien pasaron entre los dos a lo largo de un corredor libre de hielo.[48] Pero, una

vez que hubieron dejado atrás de forma segura los casquetes en Norteamérica, la humanidad se expandió con celeridad por el continente a medida que la Edad de Hielo remitía. Atravesaron el istmo de Panamá y llegaron a Sudamérica hace unos 12.500 años, y al cabo de otro milenio habían alcanzado el extremo más austral del continente. La humanidad había abarcado todo el orbe.

Así pues, la Edad de Hielo y la consiguiente reducción del nivel del mar a escala global permitieron el poblamiento de las Américas. Al desplazarse por Europa y Asia, nuestros antepasados habían establecido contacto con neandertales y denisovanos, pero en América no encontraron pueblos previos. Tras haber cruzado el puente continental de Bering y llegado al Nuevo Mundo, la humanidad caminaba por donde ninguna especie de hominino lo había hecho antes.[49]

Con posterioridad, hace unos 11.000 años, cuando el mundo se calentó de nuevo después del último máximo glacial y el nivel del mar volvió a subir, el puente continental de Bering volvió a desaparecer bajo las olas. La conexión entre Alaska y Siberia se cortó, y los hemisferios oriental y occidental quedaron separados. No hubo ningún otro contacto entre los pueblos del Viejo Mundo y los del Nuevo Mundo durante otros 16.000 años, hasta que Colón puso pie en las islas del Caribe en 1492. De genética parecida, pero asentadas en paisajes distintos con acceso a plantas y animales diferentes, estas dos poblaciones aisladas de la humanidad crearon civilizaciones independientes, aunque fueron notablemente similares a la hora de domesticar plantas y ganado y de desarrollar la agricultura.(10)

Quizá haya dado la impresión de que nuestra expansión fue una migración rápida, o incluso dirigida, hasta ocupar todos los rincones del mundo; como si nuestros antepasados hubieran vuelto conscientemente la espalda a su cuna original en África, se hubiesen dirigido audazmente hacia el horizonte, quizá frunciendo el ceño en una expresión de entereza, y hubieran llenado de un modo sistemático todos los rincones y recovecos de los continentes. Pero es más exacto describir estos movimientos como dispersiones, con grupos de

cazadoresrecolectores distribuidos ampliamente por el paisaje, con densidades de población muy bajas, que se desplazaban lentamente al compás de las estaciones y en el curso de los años en función de los climas locales cambiantes, y que vagaban para evitar el frío y la sequía y para buscar condiciones más favorables, más cálidas y húmedas, con vistas a encontrar alimento.[53] A lo largo de generaciones, nos desplazamos cada vez más lejos. La expansión de la humanidad desde la península Arábiga por toda la costa meridional de Eurasia hasta China, por ejemplo, tuvo lugar a un ritmo promedio de menos de medio kilómetro al año.

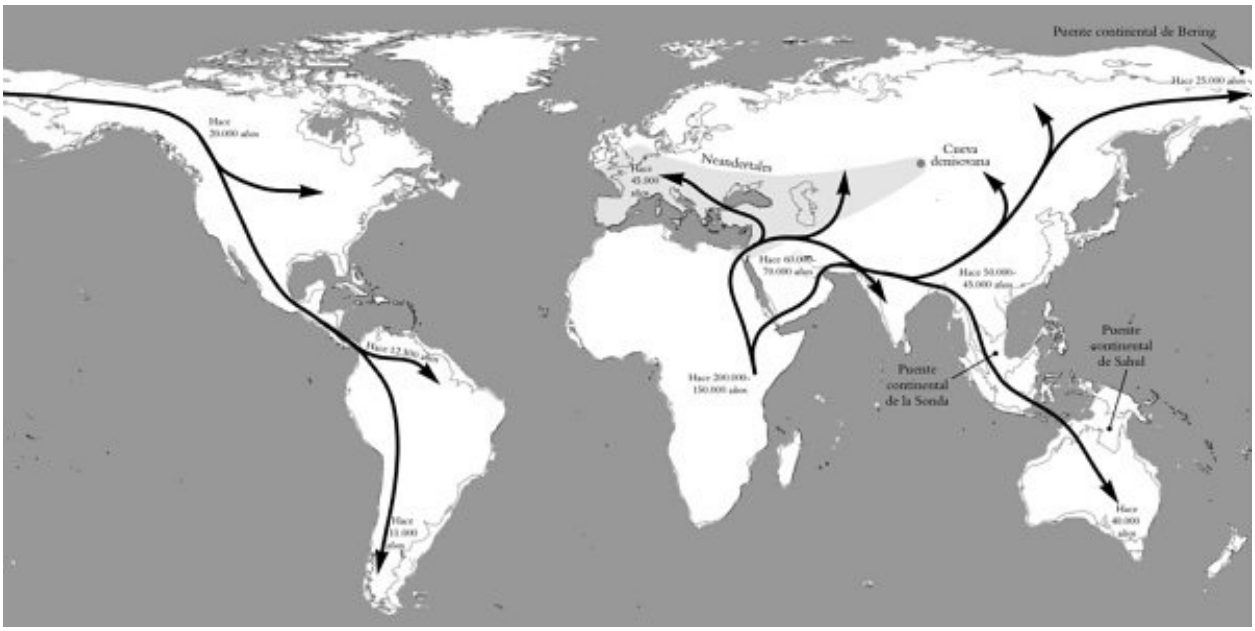


FIGURA 6. 6. El mundo de la Edad de Hielo con las rutas de migración de *H. sapiens* y la distribución aproximada de los neandertales y los denisovanos.

Sin embargo, al final la humanidad heredó la Tierra. Nuestras especies primas de homininos (los neandertales y denisovanos) acabaron por extinguirse. Tal como hemos visto en el capítulo anterior, lo más probable es que simplemente perdieran en la competencia con los humanos, en lugar de ser cazados y muertos, o bien que sucumbieran a las rigurosas condiciones cuando la Edad de Hielo alcanzó su apogeo. Los últimos neandertales desaparecieron hace entre 40.000 y

24.000 años, y nos convertimos en la única especie humana superviviente en la Tierra. A los 50.000 años de haber abandonado África habíamos colonizado todos los continentes, a excepción de la Antártida, y nos habíamos convertido en la especie animal con la distribución más amplia del planeta. Nuestro dominio del fuego y nuestra destreza para confeccionar ropa y esgrimir utensilios nos permitieron —a un puñado de simios de la sabana— habitar en todas las zonas climáticas, desde los trópicos hasta la tundra. Nos alejamos del ambiente que nos creó, y aprendimos a forjar nuestros propios hábitats artificiales de cabañas y granjas, aldeas y ciudades.(11)

Quizá resulte sorprendente que esta expansión global tuviera lugar durante el clima rigurosamente frío de la última edad de hielo, pero en realidad fueron estas mismas condiciones de cámara frigorífica las que permitieron que lo lográramos. El aumento de los casquetes polares septentrionales extrajo tanta agua de los océanos que el descenso del nivel del mar expuso grandes zonas de las plataformas continentales. Fue la Edad de Hielo la que nos permitió andar simplemente por tierra emergida hasta Indonesia, cruzar el estrecho brazo de mar hasta Australia y abrirnos paso a lo largo del puente continental de Bering hasta las Américas. Niveles del mar más bajos significaron también que había una superficie de tierra emergida mucho mayor en la que vivir: unos 25 millones de kilómetros cuadrados adicionales, aproximadamente el equivalente de la Norteamérica actual.[55]

Sin embargo, además de proporcionar las condiciones que permitieron que la humanidad se extendiera por todo el globo, las edades de hielo pretéritas tuvieron otras implicaciones de gran alcance a la hora de conformar el paisaje en el que habitamos y para el devenir de nuestra historia.

Ramificaciones

El lector quizá sepa que los «bordes arrugados» de Noruega, constituidos por

innumerables fiordos en forma de U, fueron excavados por el avance de los glaciares durante las edades de hielo, como lo fueron los *lochs* de Escocia. Y, aunque la glaciación fue mucho menos acusada en el hemisferio sur, si observamos un mapa de Chile veremos características idénticas a las de los fiordos a lo largo de la costa del Pacífico en la punta de Sudamérica. Durante las edades de hielo, el casquete de hielo de la Patagonia se expandió desde los Andes, hasta cubrir una tercera parte de Chile en el momento de su máxima extensión, y excavó estos valles, que posteriormente quedaron inundados a raíz del aumento del nivel del mar y se convirtieron en un revoltijo increíblemente intrincado de islotes, promontorios y canales interconectados, todos ellos accidentados, casi como si el propio litoral hubiera sido destrozado por la helada.

Cuando el explorador portugués Fernando de Magallanes encontró una ruta para rodear el extremo meridional de Sudamérica en 1520, en el primer viaje de circunnavegación del mundo, dicha ruta transcurría por un paso creado por estos valles inundados labrados por los glaciares. Los puntos más estrechos de la entrada desde el Atlántico al estrecho de Magallanes estaban formados por «morrenas terminales», los detritos empujados por los glaciares que actuaban como motoniveladoras y que después, cuando los glaciares empezaron a retirarse al finalizar la Edad de Hielo, estos abandonaron en la base.[56] El estrecho de Magallanes, de 600 kilómetros de longitud, fue un enlace marítimo fundamental para la navegación entre los dos mayores océanos de la Tierra durante casi cuatro siglos, hasta la construcción del canal de Panamá en 1914. Aunque es estrecho y resulta difícil navegar por él, y tiene corrientes impredecibles, sigue siendo más corto y (como canal tierra adentro) estando mucho más resguardado frente a las tormentas que el tempestuoso pasaje entre el cabo más austral y la Antártida, que sir Francis Drake encontró en 1578.

La glaciación tuvo también implicaciones profundas para la reconfiguración de la geografía de Norteamérica y la posterior historia de Estados Unidos. Allí el extenso casquete de hielo desvió el curso de los grandes ríos Missouri y Ohio, y cuando la glaciación se derritió, continuaron fluyendo a lo largo de lo que había

sido el borde del casquete. En la actualidad, se unen al Mississippi en forma de una enorme ψ y ofrecen un fácil medio de transporte de este a oeste directamente a través del interior del continente. El Missouri, en particular, se extiende a lo largo de más de dos mil kilómetros al oeste desde las montañas Rocosas. Fue este río, previamente desviado por la Edad de Hielo, el que condujo a los exploradores Lewis y Clark durante la mayor parte de su camino hasta la costa del Pacífico en 1804 y permitió el establecimiento de norteamericanos en el enorme trecho de Luisiana y los Territorios del Noroeste. Otros ríos fueron desviados asimismo por la glaciación, como el Teays y el San Lorenzo; sin las rutas de transporte que ofrecían estos alrededor de los Apalaches, las trece colonias originales quizá hubieran quedado confinadas al litoral atlántico.

Los Grandes Lagos de Norteamérica son también rasgos que la Edad de Hielo dejó atrás, y sus cuencas profundas fueron excavadas por el avance del casquete de hielo de Laurentia y después llenadas por el agua de fusión cuando este se retiró de nuevo hace 12.000 años.[57] Una vez que estuvieron unidas por canales, estas vías navegables resultaron enormemente importantes para el transporte hacia el interior desde la costa del Atlántico antes de la construcción de las vías férreas de larga distancia, y fueron testigo de cómo Nueva York, Buffalo, Cleveland, Detroit y Chicago se transformaban en centros comerciales importantes.[58]

Pueden verse morrenas, lomajes de escombros de 40-50 metros de altura, extendiéndose directamente a través del norte de Estados Unidos. Long Island, en Nueva York, está formada por dos extensas crestas de morrenas abandonadas en el frente del casquete de hielo de Laurentia, como lo está el cabo Cod, más arriba en la costa de Massachusetts.[59] Además, Boston, Chicago y Nueva York están construidas sobre gruesos depósitos que dejó atrás la fusión de este casquete de hielo.[60] Excavamos en todo el mundo estas morrenas y depósitos de ríos glaciales para obtener arena y grava que usamos como áridos para hacer cemento, para construir carreteras y como material de base para cimientos o vías de ferrocarril. Además, la gélida frontera de los casquetes de hielo americanos

impulsó fuertes vientos, que aventaron finas partículas de limo, arena y arcilla que habían sido excavadas de la roca madre, y las depositaron mucho más al sur para crear las tierras agrícolas de loess, fabulosamente fértiles, del Medio Oeste. [61]

Sin embargo, es al otro lado del charco donde encontramos quizá el ejemplo más claro de la influencia de las edades de hielo en la historia.

Nación insular

Hace medio millón de años, Gran Bretaña no era una isla. Seguía siendo parte de la Europa continental, conectada físicamente a Francia (como gemelos siameses) mediante un istmo que se extendía entre Dover y Calais. Este puente continental era una continuación de la estructura geológica en forma de giba conocida como anticlinal de Weald-Artois, que se extiende desde el sudeste de Inglaterra hasta el noroeste de Francia, formada por capas de roca dobladas hacia arriba en la misma convulsión tectónica que creó los Alpes cuando África impactó en Eurasia.

El puente continental entre Inglaterra y Francia fue erosionado para cortar esta conexión, y parece que esto ocurrió a raíz de un acontecimiento catastrófico único. Los mapas de sonar del canal de la Mancha revelan con claridad un valle insólitamente recto y ancho sobre el lecho marino,[62] que contiene islas estilizadas y surcos largos, de un kilómetro de ancho; señales claras de una enorme inundación de agua que fluyó sobre el terreno.

Como hemos visto, durante nuestra era actual de edades de hielo pulsantes, las glaciaciones provocaron que los niveles del mar en todo el mundo bajaran más de cien metros. Esto permitió que la plataforma continental somera que rodea al mar del Norte y la cuenca del canal de la Mancha emergieran como tierra firme.

Durante la edad de hielo de hace unos 425.000 años (cinco edades de hielo antes de la glaciación más reciente), un enorme lago de agua quedó atrapado entre los casquetes de hielo Escocés y Escandinavo y la cresta de treinta kilómetros de ancho que entonces conectaba todavía Inglaterra y Francia. Este lago se llenó con agua de deshielo procedente de los casquetes, así como de la descarga de ríos como el Támesis y el Rin. Y, sin desagüe por el que salir, el agua fue subiendo cada vez más, hasta que inevitablemente empezó a derramarse sobre el puente continental. Estas cascadas colosales achicaron enormes estanques de inmersión en el fondo del canal y excavaron la parte posterior de la barrera, hasta que esta presa natural se derrumbó. Todo el lago atrapado se vació y provocó una megainundación catastrófica, ampliando la brecha abierta en la barrera y labrando las formas de tierra sobre el lecho del canal de la Mancha que hoy podemos ver con la ayuda del sonar. Se cree que a esta primera megainundación de hace 425.000 años le siguió un segundo evento hace aproximadamente 200.000 años, y entre ambos excavaron lo que ahora es el estrecho de Dover, dejando así los blancos acantilados como el muñón del antiguo istmo. Con el deshielo que tiene lugar después de cada edad de hielo y el aumento del nivel del mar durante los periodos interglaciares, este paso formó el canal de la Mancha.[63]

Gran Bretaña se había separado de Europa de manera permanente.

La formación del canal de la Mancha ha tenido profundas repercusiones a lo largo de la historia de Gran Bretaña, así como para Europa en su conjunto. El canal ha funcionado como un foso defensivo natural, que ha protegido a la isla a lo largo de toda la historia europea. La última invasión a gran escala, la conquista normanda de 1066, tuvo lugar hace casi mil años. Gran Bretaña estaba lo suficientemente cerca para comerciar y sigue íntimamente involucrada en la política del continente, pero protegida al mismo tiempo.

A lo largo de las constantes peleas, conflictos y corrimientos fronterizos de la Europa continental, Gran Bretaña se ha librado en gran parte de los estragos de la guerra en su suelo patrio y ha podido permanecer distante y aislada, y elegir

intervenir solo cuando convenía a sus intereses.[64] En el siglo XVII, por ejemplo, se ahorró la devastación de la guerra de los Treinta Años, que se inició como un conflicto entre los estados europeos católicos y protestantes y que asoló gran parte de Europa central, causando enormes pérdidas de población (más del 50 por ciento en algunas regiones) debido a las hambrunas y epidemias resultantes. Segura tras su foso natural, la situación de Gran Bretaña contrasta en muchos aspectos con la de Alemania, limitada al norte por el mar y al sur por los Alpes, pero abierta a ambos lados a la Gran Llanura europea. Es esta vulnerabilidad fruto de la falta de defensas naturales lo que explica gran parte de la inseguridad y de las ambiciones militares de los estados de esta región: el Sacro Imperio Romano Germánico, Prusia y, después, Alemania como una nación unificada.

Con fronteras naturales bien definidas y un tamaño relativamente reducido, Inglaterra alcanzó la unificación temprana de territorios feudales bajo una identidad nacional.[65] También se ha aducido que fueron esta escasa amenaza de invasión y la sensación de seguridad ante los peligros exteriores lo que permitió la progresiva pérdida de poder de la monarquía autocrática en favor de un sistema democrático más equilibrado, que empezó con la Carta Magna en 1215 y condujo al sistema parlamentario establecido en la actualidad.[66]

Más aún: sin una frontera terrestre que defender, bastaba con que el gasto militar británico fuese una fracción del de sus rivales continentales.[67] En cambio, Gran Bretaña pudo centrar sus energías en construir y mantener la Royal Navy, no solo para defender el suelo patrio (la derrota de las flotas francesa y española en la batalla de Trafalgar en 1805, que frustró las esperanzas de Napoleón de invadir Gran Bretaña, es el ejemplo más sorprendente), sino también para vigilar a sus colonias ultramarinas y proteger sus intereses y rutas comerciales, pues desarrolló un imperio marítimo que acabó por desbancar a los de España, Francia y Holanda.

Desde luego, es imposible afirmar con algún grado de certeza cómo se habría

desarrollado la historia de Europa si Gran Bretaña no hubiera sido una isla. ¿Qué habría ocurrido si los casquetes de hielo Escocés y Escandinavo no se hubieran fusionado nunca para encerrar el lago glacial que se derramó sobre el canal de la Mancha, erosionando y llevándose el istmo y abriendo el estrecho de Dover? ¿Y qué hubiera ocurrido si las edades de hielo hubieran sido un poco menos gélidas? No es este el lugar para especular acerca de historias contrafactuales, pero pensar en los resultados alternativos potencialmente graves subraya la importancia de la geología en la manera en que encontramos el mundo en la actualidad. Si Gran Bretaña hubiera estado todavía unida al continente por un puente de tierra firme, ¿acaso la *Blitzkrieg* de la Wehrmacht que arrasó Europa habría derrotado también a este último bastión de la resistencia contra la Alemania nazi? ¿Habría caído Gran Bretaña frente a la Grande Armée de Napoleón en 1805, o acaso las fuerzas españolas la habrían invadido en 1588 (sin la necesidad de una armada supuestamente invencible)?

Se podría argumentar que la poderosa nación insular ha colaborado en el mantenimiento del equilibrio de poder en la historia del continente al hacer frente a las invasiones e impedir que una sola potencia consolidara un imperio europeo. Por otra parte, su aislamiento geográfico ha creado una mentalidad insular que ha hecho que a menudo Gran Bretaña permaneciera distante y fuera renuente a establecer relaciones más estrechas con sus vecinos del continente, a pesar de intereses comunes y de un destino compartido.

Así, el periodo más reciente de la historia del planeta ha permitido que nuestra especie se extendiera por todo el globo, y las impresiones duraderas que las edades de hielo pulsantes han dejado sobre el paisaje han tenido implicaciones profundas para el devenir de la historia humana. Todo el relato de la civilización se ha desarrollado durante el periodo interglacial actual, y ahora dirigiremos nuestra atención a las fuerzas planetarias que se hallan detrás de esta transición fundamental en nuestra historia: la domesticación de especies de plantas silvestres y animales salvajes y la aparición de la agricultura.

3

Nuestro regalo biológico

Hace entre 20.000 y 15.000 años, los ritmos superpuestos de los ciclos de Milankovitch empezaron a caldear de nuevo el hemisferio norte. Los grandes casquetes de hielo comenzaron a derretirse y retirarse, y el intenso frío de la última edad de hielo finalizó.[1] En Norteamérica, gran parte del agua de escorrentía procedente de los casquetes que se fundían quedó atrapada tras una cresta de detritos depositados en la base de los glaciares en retirada. Esto formó inmensos lagos de agua de deshielo, el mayor de los cuales fue bautizado como Agassiz en honor al geólogo estadounidense de origen suizo que fue el primero en proponer la idea radical (en aquella época) de una edad de hielo pretérita que había cubierto el hemisferio norte. Hacia el año 11000 a. C., el lago Agassiz se había expandido hasta cubrir casi medio millón de kilómetros cuadrados del norte de Canadá y Estados Unidos, una zona de un tamaño equivalente al del mar Negro. Entonces ocurrió lo inevitable. La presa natural reventó, el enorme volumen de agua glacial se derramó en una avenida inmensa y repentina que recorrió los Territorios del Noroeste, a lo largo del curso actual del río Mackenzie, hasta desembocar en el océano Ártico.[2] Esta liberación súbita del agua retenida causó un aumento inmediato del nivel del mar. Pero sus efectos sobre una cultura que se estaba desarrollando a unos 10.000 kilómetros de distancia, en la región del Levante, en el Mediterráneo oriental, fueron mucho más profundos.(12)

Paraíso encontrado y perdido

Mientras los casquetes glaciales se retiraban, los bosques se expandían de nuevo para sustituir las amplias bandas de estepas áridas y monte bajo, los ríos iban llenos a rebosar y los desiertos se reducían. Con condiciones más cálidas y más húmedas, la vegetación exuberante proliferaba y las poblaciones de animales ramoneadores aumentaban.[4] La primavera volvió al planeta, y nuestros antepasados cazadoresrecolectores encontraron más fácil salir adelante. En el Levante, abundaban el trigo, el centeno y la cebada silvestres y los bosques se recuperaban. Allí surgió un pueblo, el de los natufios, que al parecer formó la primera sociedad sedentaria del mundo, incluso antes del desarrollo de la agricultura. Se instalaron en aldeas de piedra y madera, recolectaban los cereales silvestres junto con frutos y nueces de los bosques, y cazaban gacelas.[5] Si hubo nunca un Jardín del Edén de los cazadores-recolectores, tuvo que ser este.

Sin embargo, esta época dorada no duró mucho. Hace unos 13.000 años, una fuerte sacudida climática, que duró más de mil, afectó a esta región de Oriente Próximo y al hemisferio norte en su conjunto. Se la conoce como el suceso Dryas Reciente y consistió en una rápida regresión del clima, que a lo largo de solo unas pocas décadas volvió a un estado mucho más frío y seco. Se cree que la causa de este abrupto retorno a las condiciones de la Edad de Hielo fue el vaciamiento del Agassiz.

El drenaje repentino de este lago enorme colocó un tapón de agua dulce sobre el Atlántico septentrional, que interrumpió temporalmente la pauta de la circulación oceánica. En la actualidad, en los océanos del mundo funcionan vigorosas cintas transportadoras de aguas circulantes que llevan calor desde el ecuador a los polos. Esta es la denominada «circulación termohalina», pues es impulsada por las diferencias de temperatura y salinidad del agua del mar. Los vientos empujan las cálidas aguas superficiales de la región ecuatorial del planeta hacia latitudes superiores (volveremos a ello en el capítulo 8) y

mantienen en marcha la corriente del Golfo, por ejemplo, que envía el calor y la humedad del Caribe a la Europa septentrional. La evaporación a lo largo del recorrido hace que el agua de mar se vuelva más salada, y asimismo se enfría en su viaje hacia el norte. Ambos efectos hacen que esta sea más densa, de modo que cerca de los polos se hunde hasta el fondo del océano y retorna al ecuador a gran profundidad. El hundimiento de agua polar también arrastra tras él más agua para mantener la corriente. Pero el vertido rápido de una gran cantidad de agua dulce en el Atlántico Norte, procedente de la descarga del lago Agassiz, interrumpió de repente la bomba de salinidad de esta cinta transportadora. El cese del sistema de circulación oceánico, que redistribuía el calor procedente del ecuador, devolvió gran parte del hemisferio norte a las condiciones que se habían experimentado durante el apogeo de la Edad de Hielo.[6]

Para los natufios la crisis ambiental, caracterizada por un desplome de las temperaturas y una reducción de la pluviosidad, supuso que las zonas que habitaban se convirtieran de nuevo en estepas áridas de arbustos espinosos y sin árboles, y que los abundantes recursos de alimentos silvestres se redujeran a ojos vista. Parece que al menos algunos natufios respondieron abandonando su incipiente estilo de vida sedentario y volviendo a la recolección migratoria. Pero algunos arqueólogos creen que este evento del Dryas Reciente animó a otros a dejar sus costumbres de cazadores-recolectores y a desarrollar, en cambio, la agricultura. En lugar de vagar cada vez más lejos para recolectar comida suficiente para sobrevivir, llevaron semillas a casa y las plantaron en el suelo, el primer paso de la domesticación. Las rechonchas semillas de centeno encontradas en los restos arqueológicos de aldeas natufias han sido interpretadas como señales de esta situación. Se trata de una afirmación polémica, pero, si fue así, ello convertiría a los natufios en los primeros agricultores del mundo. Un invento que cambiaría para siempre la manera en que vivimos nació de la adversidad de un cambio climático repentino.[7]

Apremiados por una serie de acontecimientos planetarios concretos (el vaciamiento del lago Agassiz, la interrupción del sistema de circulación del

Atlántico y la sacudida del evento del Dryas Reciente), los natufios debieron de ser los primeros sembradores, pero ya eran una cultura establecida, y por lo tanto quizá ya estaban preparados para acometer este experimento inicial con el cultivo. Con todo, en cuestión de unos pocos milenios, a medida que el planeta se caldeaba tras la última edad de hielo, pueblos de todo el mundo iban a seguir sus pasos. Hace entre unos 11.000 y 5.000 años, la agricultura se desarrolló en al menos siete lugares diferentes de toda la Tierra.

La revolución neolítica

Aunque humanos modernos desde el punto de vista anatómico habían aparecido en África hace alrededor de 200.000 años, nuestros antepasados solo se hicieron modernos desde el punto de vista del comportamiento hace entre 100.000 y 50.000 años. Poseían las mismas facultades lingüísticas y cognitivas que tenemos hoy en día, vivían en grupos sociales y elaboraban y usaban utensilios y el fuego de manera competente. Enterraban con cuidado a sus muertos, confeccionaban vestidos y creaban expresivas obras de arte en las que se representaban a sí mismos y al mundo natural que les rodeaba en pinturas rupestres y esculturas de hueso y piedra. Eran expertos cazadores, pescaban y recolectaban una amplia variedad de plantas comestibles. Incluso habían empezado a moler granos silvestres en sencillas piedras de molino para obtener harina.[8]

Tal como hemos visto en el capítulo anterior, hace aproximadamente 60.000 años la humanidad salió de África y se dispersó por todo el globo. Pero no fue hasta hace unos 11.000 años cuando se dieron los primeros pasos firmes hacia la agricultura y el asentamiento, una transición que recibe el nombre de Revolución neolítica. El casquete de hielo norteamericano, aunque se reducía rápidamente, todavía cubría más de la mitad de Canadá cuando se domesticaron y se cultivaron las primeras plantas en el Creciente Fértil del Mediterráneo oriental y,

poco después, en el valle del río Amarillo, en el norte de China.[9] Solo unos pocos miles de años más tarde, nuestros ancestros hacían lo mismo en otras regiones del mundo. La agricultura surgió asimismo en la banda del Sahel de África del Norte, en las tierras bajas de Mesoamérica, en la región sudamericana de los Andes-Amazonia, en los bosques del este de Norteamérica y en Nueva Guinea.[10] Después de vivir 100.000 años, durante la última edad de hielo, como cazadores-recolectores, con el caldeamiento del mundo diferentes pueblos de todo el planeta iniciaron el camino hacia la agricultura y la civilización que habría de transformar para siempre a nuestra especie.

Es casi como si se hubiera dado un pistoletazo de salida. ¿Cuáles fueron las fuerzas planetarias que alentaron este paso decisivo de la existencia humana?

No podemos estar seguros de por qué pueblos de diferentes lugares de todo el mundo se dedicaron deliberadamente a plantar semillas y a cuidar con esmero de las plantas, iniciando así el proceso de domesticación y de cultivo selectivo de especies. El desarrollo de la agricultura pudo ser propiciado por un periodo de clima favorable que hizo que los intentos de cultivar fueran menos arriesgados y más seductores o, en cambio, por una repentina conmoción regional, bajo unas condiciones en constante deterioro (como el evento del Dryas Reciente), que animó a una comunidad sedentaria a encontrar otras formas diferentes de alimentarse.[11] Pero, de una u otra manera, el final de la última edad de hielo fue claramente decisivo.

El hecho de que la humanidad no se estableciera para empezar a cultivar la tierra durante la Edad de Hielo quizá no sea sorprendente, aunque la razón no sea sobre todo las frías condiciones. Mientras que los casquetes de hielo septentrionales se extendían mucho más allá del Ártico y cubrían gran parte de las latitudes elevadas de América, Europa y Asia, en otras partes no imperaba un clima tan frío que imposibilitase la vida humana. La temperatura alrededor de los trópicos era solo un grado o dos menor que en la actualidad, y aunque la Tierra de la Edad de Hielo, como hemos visto, era en su conjunto más seca, no era tan árida en todas partes como para impedir el desarrollo de la agricultura.

[12] Puede que el factor limitante no fuese un clima adversamente frío o seco, sino extremadamente variable. El clima y la precipitación regional podían variar de manera súbita y espectacular.[13] Es probable que cualquier tribu de la Edad de Hielo que llevara a cabo experimentos de cultivo precoces viera frustrados sus esfuerzos por estas fluctuaciones rápidas. Incluso más avanzada nuestra historia, civilizaciones bien establecidas se vinieron abajo cuando su clima regional se volvió más seco y paralizó su base agrícola, como ocurrió con la población india de Harappa, con el Reino Antiguo en Egipto y con la civilización maya clásica.[14](13)

Por otro lado, los periodos interglaciales, como el que estamos viviendo en la actualidad, se caracterizan por unas condiciones climáticas comparativamente estables. En realidad, los últimos 11.000 años del actual interglacial del Holoceno han sido el periodo cálido estable más largo del último medio millón de años.[16] Y el aumento del dióxido de carbono atmosférico tras la última edad de hielo, que debió de estimular el crecimiento vegetal, fue un efecto global y, por lo tanto, puede explicar por qué culturas de todo el mundo desarrollaron casi simultáneamente la agricultura.[17] Dichas condiciones estables, cálidas y húmedas en regiones que producían con regularidad hierbas de semillas grandes, habrían motivado a la gente a cuidar de unas pocas especies selectas y a establecerse en lugar de seguir vagando. Todo parece indicar que los periodos interglaciales son un requisito previo para la agricultura.

Consideremos ahora en detalle cómo domesticamos las plantas silvestres y los animales salvajes, y qué determinó las especies que fueron adoptadas por la humanidad.

Semillas de cambio

El Holoceno es el primer periodo interglacial que experimentaron los primeros humanos, y, casi inmediatamente después, pueblos de todo el mundo empezaron

a desarrollar la agricultura. El trigo y la cebada fueron domesticados por primera vez hace unos 11.000 años en el paisaje montuoso y lluvioso de Turquía meridional[18] y después se extendieron a las llanuras entre el Tigris y el Éufrates, una región llamada Mesopotamia, «la tierra entre ríos».[19] El regadío fue desarrollado en los altiplanos turcos unos 2.000 años después y luego, hace 7.300-5.700 años, fue adoptado en Mesopotamia para controlar las crecidas de los dos ríos y distribuir sus aguas.[20] La región que se arquea entre esta, el Levante y el río Nilo se conoce como Creciente Fértil, un arco de tierra cultivable en el entorno, árido por otra parte, de África del Norte y Oriente Próximo.

En China, el mijo empezó a cultivarse hace unos 9.500 años en los valles más frescos, y estacionalmente más secos, del río Amarillo, en el noroeste. El mijo, y después la soja —domesticada hace unos 8.000 años—, crecían en los suelos de loess, blandos y fértiles, de la región.[21] En torno a la misma época, el cultivo del arroz empezó a lo largo del río Yangtsé, en la región tropical, más cálida y húmeda, de la China meridional.[22] Allí se cultivaron cantidades enormes de este cereal en arrozales y terrazas minuciosamente construidos en las laderas de los montes, que exigían una diestra ingeniería hidráulica para crear estanques de solo unos pocos centímetros de profundidad en cada arrozal, que pudieran ser vaciados antes de la cosecha.[23]

Las plantas domesticadas en el Creciente Fértil se extendieron hasta el valle del Indo hace unos 9.000-8.000 años, y el cultivo del arroz se inició en el delta del Ganges, posiblemente domesticado con independencia del de China.[24] En el Sahel, la banda de clima semiárido entre el desierto del Sáhara y la sabana ubicada más al sur, el cultivo de sorgo y de arroz africano empezó hace unos 5.000 años, antes de que la incesante desecación de la región obligara a las comunidades agrícolas a emigrar a las zonas más húmedas de África occidental.[25]

En las Américas, hace unos 10.000 años se domesticaron calabaceras en Mesoamérica, y el maíz se cultivaba en el sur de México hace 9.000 años; más

tarde, las judías y los tomates se convirtieron también en cultivos básicos.[26] Las patatas, en gran número de variedades, han venido cultivándose en los Andes desde hace 7.000 años.[27] En las tierras altas de la Nueva Guinea tropical, los tubérculos del ñame y el taro, ricos en almidón, fueron cultivados hace entre 7.000 y 4.000 años.[28](14)

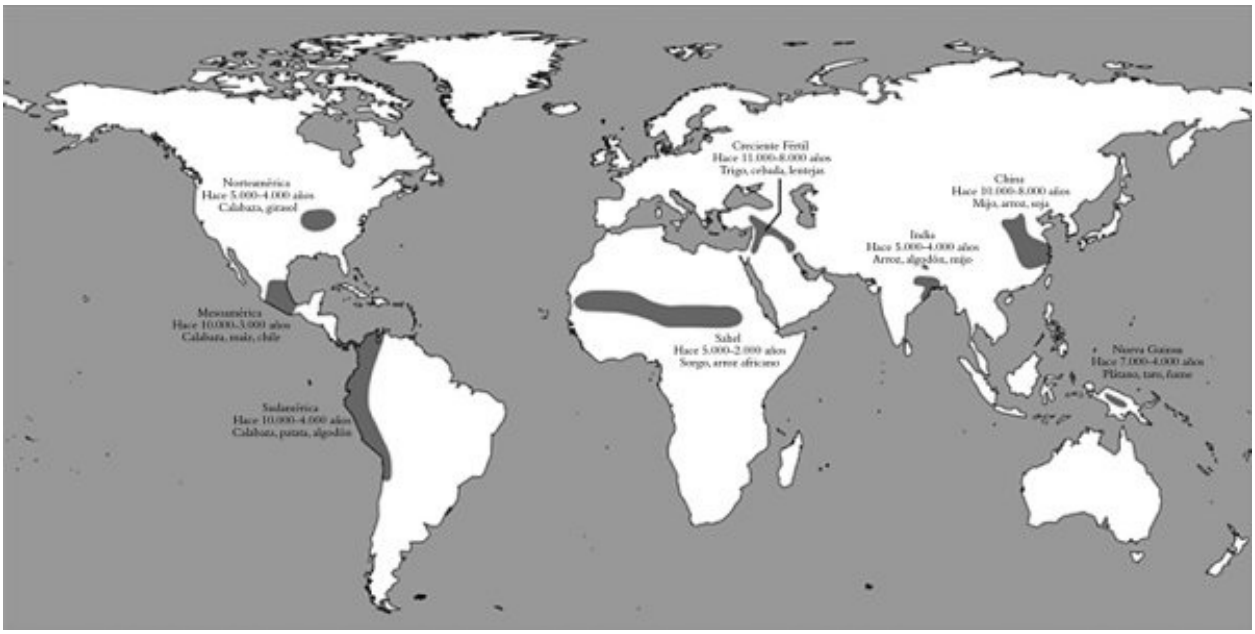


FIGURA 7. Regiones donde se originó la domesticación de plantas.

Por lo tanto, hacia el año 5000 a. C.,[30] la humanidad había aprendido a domesticar una gran variedad de especies de plantas comestibles en una serie de climas, zonas y paisajes, desde las llanuras aluviales de Mesopotamia hasta las tierras altas de los Andes peruanos y los trópicos de África y Nueva Guinea. Con mucho, las plantas más importantes que cultivamos son los cereales. Granos como el trigo, el arroz y el maíz, junto con el mijo, la cebada, el sorgo, la avena y el centeno, han sostenido milenios de civilización humana. Y los tres sistemas agrícolas más importantes que se han extendido por la mayoría de las zonas del planeta son el trigo (que se originó en el Creciente Fértil), el arroz (en China) y el maíz (en Mesoamérica).[31] En la actualidad, estos tres cereales por sí solos proporcionan alrededor de la mitad de toda la energía alimentaria ingerida por la

humanidad en todo el mundo.

Todos los cereales son especies herbáceas. Por asombroso que pueda parecer, la verdad es que no somos diferentes del ganado bovino, ovino o caprino que dejamos que pasten en el campo; la humanidad sobrevive comiendo hierba.

Muchas son especies de plantas resistentes que pueden colonizar la tierra después de que el bosque preexistente haya desaparecido debido a condiciones cada vez más áridas, después de que un incendio haya arrasado una zona o, de hecho, después de cualquier alteración del ecosistema establecido. Su estrategia de supervivencia es crecer rápidamente y dedicar la mayor parte de la energía que obtienen del sol a sus semillas en lugar de construir estructuras robustas, como los árboles, que es lo que las hace adecuadas para el cultivo. Y esta es la razón ecológica fundamental de que tantos de nosotros comamos una rebanada de pan tostado o un cuenco de cereales para desayunar: el pan de trigo, los copos de maíz o los crujientes de arroz y las gachas de avena derivan todos de especies de hierbas de crecimiento rápido (y, desde luego, los cereales conforman también la base de otros alimentos).

Sin embargo, para poder utilizar cereales herbáceos nos enfrentamos todavía a un problema biológico. No tenemos cuatro estómagos, como los de la vaca, que nos permitan descomponer materia vegetal dura para liberar sus nutrientes. Por lo tanto, escogimos especies de plantas que producen un germen de energía en sus granos (que, desde el punto de vista botánico, son frutos) y aplicamos al problema nuestro cerebro en lugar de nuestro estómago. La rueda de molino que usamos para moler el grano y convertirlo en harina (y los mecanismos que inventamos a lo largo de la historia para impulsar su rotación, como la noria o el molino de viento) es una extensión tecnológica de nuestros dientes molares. Y el horno que empleamos para cocinar esta harina y hacer pan, o la cacerola que empleamos para hervir arroz y verduras, son algo así como sistemas predigestivos externos. Hemos aplicado el poder químicamente transformador del calor y el fuego para descomponer los complejos compuestos vegetales y poder así absorber sus nutrientes.

Punto sin retorno

El desarrollo de la agricultura ofreció enormes ventajas a las sociedades que la adoptaron, a pesar del constante trabajo que conlleva labrar la tierra y nutrir las plantas cultivadas. Los pueblos asentados son capaces de un crecimiento demográfico mucho más rápido que los cazadores-recolectores. No hay que acarrear a los niños durante largas distancias y se puede destetar a los bebés (y alimentarlos con grano molido) mucho antes, lo que significa que las mujeres pueden dar a luz con mayor frecuencia. Y, en las sociedades agrícolas, más hijos son una ventaja porque pueden ayudar a cuidar de los cultivos y el ganado, ocuparse de sus hermanos pequeños y procesar comida en casa. Los granjeros engendran más granjeros de manera muy eficaz.[32]

Incluso con técnicas primitivas, una zona de tierra fértil puede producir diez veces más comida para los humanos cuando se cultiva que cuando se usa para recolectar o cazar.[33] Pero la agricultura también es una trampa. Una vez que una sociedad ha adoptado esta actividad y el número de sus individuos ha aumentado, es imposible regresar a un estilo de vida más sencillo; la población más numerosa se vuelve totalmente dependiente de la agricultura para producir comida suficiente para todos. No hay vuelta atrás. Y también hay otras consecuencias. Las poblaciones asentadas y de elevada densidad que sostiene la agricultura pronto desarrollan estructuras sociales muy estratificadas, que traen aparejadas una reducción de la igualdad y una mayor disparidad en cuanto a riqueza y libertad en comparación con los cazadores-recolectores.[34]

Cuando los agricultores bajaron por primera vez de las colinas de la Turquía actual a las llanuras de Mesopotamia en el sexto milenio a. C., llevando consigo sus cereales domesticados, la Tierra entraba en la fase más cálida y más húmeda de los ciclos de Milankovitch. El terreno pantanoso de la Baja Mesopotamia era muy fértil, pues su grueso suelo aluvial había sido erosionado en las tierras altas

del norte y depositado por los ríos en su recorrido hasta el golfo Pérsico. (Mesopotamia se extiende a lo largo de una depresión tectónica, como hemos visto en el capítulo 1.) La agricultura productiva alentó una explosión demográfica, pero hacia el año 3800 a. C. el clima se volvió de nuevo más frío y empezó a llover con menor regularidad; la tierra fecunda entre los ríos empezó a desecarse. En respuesta, los agricultores de las aldeas unieron sus recursos y su mano de obra y se congregaron en asentamientos cada vez mayores desde los que podían controlar sistemas de irrigación más extensos.[35] Construir y mantener estos canales tanto para la agricultura como para el transporte requirió, y al mismo tiempo promovió, una administración centralizada y sistemas cada vez más complejos de organización social.[36] De modo que fue allí, en Mesopotamia, donde la agricultura dio lugar a la primera sociedad organizada del mundo. Hacia el año 3000 a. C. se habían fundado más de una docena de ciudades grandes,[37] cuyos nombres perduran todavía en nuestra memoria cultural: Eridu, Uruk, Ur, Nippur, Kish, Nínive y, más tarde, Babilonia. La tierra entre ríos se había convertido en una tierra de ciudades, que sus habitantes conocían como Sumeria.[38] Hacia el año 2000 a. C., el 90 por ciento de la población sumeria vivía en urbes.(15)

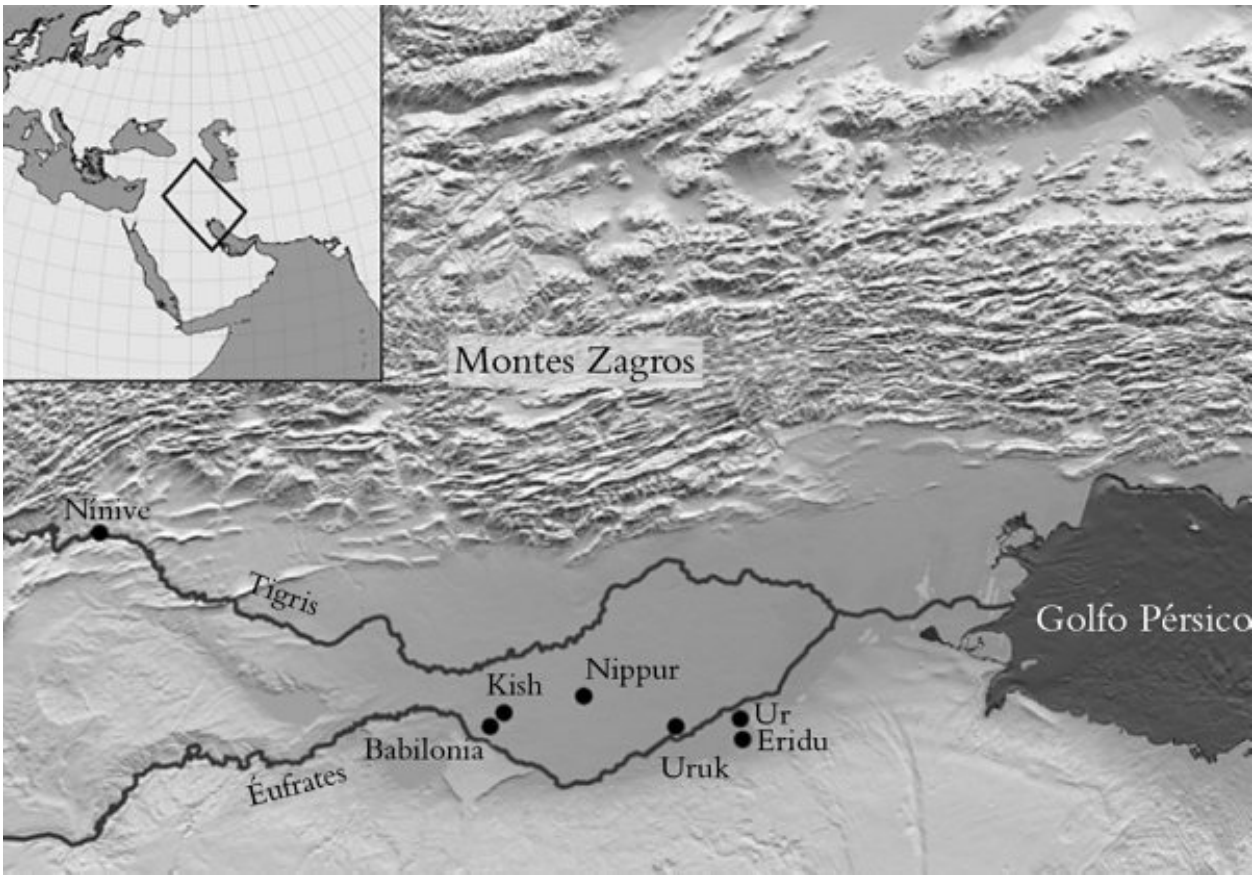


FIGURA 8. Mesopotamia se halla en la depresión tectónica a lo largo de los montes Zagros.

Se cree asimismo que la aparición de la civilización en el Antiguo Egipto fue fruto del cambio climático. Durante los periodos interglaciales previos, África del Norte era sustancialmente más húmeda, estaba tachonada de grandes lagos y contaba con extensos sistemas fluviales, que hacían que el Sáhara, con abundantes praderas y bosques, fuera verde.[39] Tribus nómadas cazaban en este paisaje de sabana y bosque, y pescaban en los lagos y ríos. Las únicas señales que quedan en la actualidad de esta fauna salvaje que medraba en la región son las pinturas rupestres hechas por los cazadores, y muestran a cocodrilos, elefantes, gacelas y avestruces.[40]

Pero este clima óptimo no iba a durar. Cuando Mesopotamia empezó a desecarse, los monzones también se retiraron de África del Norte. Las masas de agua superficial que quedaban en el Sáhara pronto desaparecieron y la zona se

secó con rapidez hacia el final del cuarto milenio a. C.[41] Los humanos que vivían allí vieron cómo su entorno se degradaba a medida que se deslizaba hacia su estado actual, sumamente árido. Al principio, quizá pudieran sobrevivir alrededor de los oasis que quedaban, pero cuando la región continuó desecándose abandonaron esa tierra moribunda y se retiraron al valle del Nilo. Egipto había heredado las plantas cultivadas y los animales domesticados en Oriente Próximo, con aldeas agrícolas que aparecieron primero en el delta y después a lo largo del Alto Nilo, a partir de 4000 a. C. Hacia el año 3150 a. C., justo cuando el Sáhara se desecó finalmente, la región fue unificada bajo el gobierno de los faraones dinásticos.[42] El proceso de aumento de la densidad demográfica, la estratificación social y el control por parte del Estado que caracterizó a los inicios de la civilización egipcia fue así impulsado por los refugiados climáticos procedentes del Sáhara, en plena desertización, que se amontonaron a lo largo del estrecho valle del Nilo.[43]

El Antiguo Egipto ofrece quizá el caso más evidente de cómo el desarrollo de una civilización se ve influido por la combinación de restricciones y oportunidades que presentan su marco geográfico y su clima. Las fiables inundaciones estivales del Nilo, un oasis en forma de cinta que recorre el desierto, revitalizan las llanuras a cada lado de su curso con sedimentos ricos en minerales erosionados de sus cabeceras en las tierras altas de Etiopía. El poderoso Nilo proporcionaba también un medio de transporte sencillo. Los vientos alisios predominantes, los del nordeste, soplan de manera regular en las latitudes de África del Norte (volveremos a ellos en el capítulo 8), lo que significa que las barcas pueden navegar a vela hacia el sur, al Alto Egipto, y la suave corriente del Nilo permite después un fácil retorno río abajo con el flujo. Este sistema natural de tránsito en ambos sentidos[44] no solo hizo posible transportar cómodamente grano, madera, piedra y fuerzas militares, sino que, además, la facilidad de comunicación a lo largo de todo Egipto ayudó a consolidar el Estado unificado.

Egipto está bien defendido por barreras naturales de desierto inhóspito a cada

lado del Nilo, con lo que pudo hacer frente a las invasiones durante la mayor parte de su historia.[45] Pero esta contención también le impidió extender su territorio y crear un vasto imperio; salvo una expansión a finales del segundo milenio a. C. a lo largo de la costa del Levante, Egipto siguió siendo una potencia regional circunscrita al Nilo. Aunque el valle fluvial era fabulosamente productivo para el cultivo de cereales (ayudó a alimentar a las ciudades-Estado de la Antigua Grecia y más tarde se convirtió en el granero del Imperio romano), carecía de árboles en abundancia. Se importaba madera de cedro desde el Levante, pero era demasiado caro construir una armada grande para proteger el poder de Egipto en el Mediterráneo o más allá del mar Rojo.[46]

Fue esta combinación de ventajas ambientales, el sencillo transporte interno y la sostenibilidad ecológica de la agricultura que ofrecía el Nilo, así como la barrera defensiva natural del desierto que todo lo envolvía, lo que creó la estable y duradera civilización egipcia.[47] Por encima de todo, fue el río lo que dio prosperidad a la región. Tal como escribió el historiador griego Heródoto en el siglo V a. C., Egipto es «el regalo del Nilo».

De modo que, a los pocos siglos de los primeros centros urbanos sumerios, ciudades y sistemas de mayor organización social aparecieron también en el valle del Nilo, así como en los de los ríos Indo y Amarillo.[48] Una agricultura generosa producía excedentes de grano para alimentar a estos asentamientos cada vez más populosos, y los gobernantes coordinaban el trabajo de las fuerzas laborales crecientes para construir impresionantes proyectos de ingeniería civil, como los sistemas de regadío en expansión, carreteras y canales, y para aumentar más todavía la producción de alimentos y su distribución. Asimismo, dentro de las ciudades, la población liberada de la necesidad de producir alimentos se podía especializar en otras destrezas: la carpintería, la forja de metales o incluso la investigación del mundo natural. Los excedentes de grano almacenados sostenían también grandes ejércitos, y los generales pronto consolidaron los primeros imperios del mundo.

Amansar a los salvajes

El nacimiento de la civilización no dependió únicamente del cultivo de especies de plantas, sino que se basó también en la transformación de animales salvajes en ganado doméstico.

La domesticación del primer animal es anterior al asentamiento de la humanidad. Los perros fueron domesticados a partir de lobos por cazadores-recolectores europeos durante la última edad de hielo, hace más de 18.000 años, [49] para que ayudaran en la caza o avisaran a las personas de la presencia de depredadores. Pero la mayoría de los animales que hay en la actualidad en nuestras granjas fueron adoptados por los humanos en fecha mucho más reciente, junto con los primeros cultivos de plantas. Las ovejas y las cabras fueron domesticadas en el Levante hace un poco más de 10.000 años; ovejas en las laderas de los montes Tauro y cabras en la cordillera de Zagros.[50] Aproximadamente en la misma época se domesticó el ganado bovino a partir del uro salvaje en Oriente Próximo e India. El cerdo fue domesticado en Asia y Europa hace entre 10.000 y 9.000 años, y gallos y gallinas en el sur de Asia hace unos 8.000 años. En las Américas, la llama fue domesticada en los Andes hace alrededor de 5.000 años, y el pavo en México hace 3.000 años.[51] La especie de ave de corral domesticada en el Sahel fue la pintada o gallina de Guinea.[52]

En todos estos casos, la domesticación debió de llegar al final de un largo proceso de cohabitación en la naturaleza. Las personas no habrían invertido tiempo y energía en criar, alimentar, cuidar y proteger a los animales si no hubieran estado ya íntimamente familiarizadas con sus costumbres y usos. De modo que, a lo largo de un prolongado camino de interacción con los animales que nos rodeaban, pasamos de hurgar en los cadáveres a cazar y después a domesticar a los animales.

Como hemos visto, la transformación de especies silvestres en plantas cultivadas permitió una producción de alimentos mucho más elevada, aunque

fuera necesaria una mayor inversión de tiempo y esfuerzo. Al mismo tiempo, la domesticación de estas especies animales ofrecía una fuente segura de carne sin la preocupación de una larga cacería. Sin embargo, la domesticación de animales proporcionó asimismo otras oportunidades que no habían estado a disposición de los cazadores-recolectores que vagaban. De un animal recién cazado se pueden extraer carne, huesos, sangre y cuero. Todos estos son productos muy útiles como alimento y para elaborar utensilios y prendas de abrigo, pero solo se obtienen una vez. En cambio, si se cuida, se cría y se protege a los animales, se puede asegurar un suministro mucho más regular de estos productos cuando se sacrifica alguna res. Y, una vez que se ha domesticado el ganado y se le atiende a lo largo de toda su vida, también es posible extraer de manera continua otros productos y servicios útiles, que simplemente no se pueden explotar de los animales salvajes. La ganadería ofrece recursos del todo nuevos. A esto se lo ha denominado la «revolución de los productos secundarios».[53]

La leche es uno de esos recursos nuevos. Primero cabras y ovejas, después vacas y, en algunas culturas, incluso yeguas y camellas, eran ordeñadas para nuestro consumo; las bocas humanas sustituían esencialmente a las de las crías de los propios animales. La leche proporciona una fuente de nutrición fiable (es rica en grasas y proteínas, así como en calcio), y los productos obtenidos de ella, como el yogur, la mantequilla y el queso, conservan estos nutrientes durante periodos prolongados. A lo largo de su vida, una yegua produce sin cesar en forma de leche unas cuatro veces más energía que la que proporcionaría su carne en caso de ser sacrificada.[54] Sin embargo, solo las poblaciones humanas nativas de Europa, Arabia, el sur de Asia y África occidental son capaces de digerir la leche fresca.[55] Han evolucionado de manera que en su aparato digestivo el enzima que permite digerirla, y que en otros mamíferos solo existe en las crías, continúa produciéndose durante de toda la vida adulta. Este es uno de los ejemplos más claros de cómo la humanidad ha coevolucionado con las especies animales que hemos domesticado y criado selectivamente para nuestros propios objetivos.

Del ganado doméstico también puede obtenerse constantemente lana. Las ovejas salvajes son peludas, con solo una delgada primera capa de fibras cortas y acolchadas. A lo largo de generaciones de cría selectiva, la humanidad ha acentuado esta primera capa para que proporcione lana, que primero fue arrancada y después esquilada para tejerla y confeccionar vestidos, un proceso que se inició hace entre 5.000 y 6.000 años.[56] Las llamas y alpacas cumplieron una función equivalente en Sudamérica.

Asimismo, la domesticación de animales grandes proporcionó otro recurso del que las sociedades de cazadores-recolectores no disponían: su potencia muscular como bestias de carga para el transporte y la tracción. La primera especie usada fue el asno, pero fue reemplazado por el caballo, la mula y el mulo (los híbridos estériles del caballo y el asno) y el camello, todos los cuales pueden acarrear cargas más grandes y llevarlas más lejos. Las reses fueron los primeros animales usados para proporcionar tracción (arrastrando arados o carros), pues es relativamente fácil enganchar un yugo a sus cuernos; los bueyes (toros castrados) en particular son fuertes pero mansos.[57] La aplicación de la tracción animal permitió la transición desde la agricultura accionada por el músculo humano, con agricultores que empleaban pequeños utensilios manuales como el azadón o la coa, hasta el uso del arado. El ganado que tiraba de este proporcionó otro impulso a la producción de alimentos, y también permitió transformar en agrícolas tierras marginales, a las que previamente se había considerado de demasiada poca calidad. Los animales de carga que llevaban mercancías por terrenos desiguales o los de tracción que tiraban de carros en las llanuras aumentaron mucho tanto el volumen como la gama de bienes que se podían transportar, y fueron muy importantes a la hora de crear rutas comerciales terrestres a gran distancia. Además, los carros de guerra arrastrados por caballos revolucionaron la guerra en Eurasia en el segundo milenio a. C.; y posteriormente, una vez que se hubieron criado de forma selectiva caballos mayores y más fuertes y fue posible montarlos, la caballería se convirtió en el arma de guerra más eficaz.

Los animales domesticados son en especial beneficiosos cuando se usan en combinación. Esto fue particularmente importante para las sociedades nómadas y pastorales; en regiones con poca tierra cultivable, la gente adoptó un estilo de vida basado casi por completo en grandes rebaños de ganado, con los que campeaban entre pastos. Animales tales como las ovejas, las cabras y las reses son como máquinas procesadoras de comida. Se alimentan de la hierba de las praderas, que es inadecuada para el consumo humano, y la transforman en carne, médula y leche nutritivas. También producen lana, fieltro y cuero para los vestidos, las camas y las tiendas. Para las sociedades pastorales, estos animales proporcionan los fundamentos mismos de la supervivencia y una fuente de riqueza que puede ser trocada.[58] Pastores montados a lomos de caballos veloces pueden controlar grandes rebaños que pastan en superficies de tierra enormes, lo que aumenta el número de recursos animales que aquellos pueden mantener. Y el transporte de gran volumen que proporcionaban los carros arrastrados por bueyes, que servían de hogares móviles, permitía a grupos familiares desplazarse por todas partes con sus rebaños. Fue esta combinación de ganado en rebaños, montar a caballo y tracción animal lo que abrió las vastas praderas de Eurasia central como un hábitat para los nómadas pastorales. La interacción (y a veces el conflicto violento) entre estas tribus nómadas que vivían en la amplitud de las estepas y las sociedades agrarias asentadas en sus márgenes desempeñó un papel fundamental en el transcurso de la historia de Eurasia, como veremos en el capítulo 7.

El uso de la energía muscular animal amplió mucho las capacidades de las sociedades humanas; el comercio a grandes distancias y los viajes a través de diferentes ambientes fueron posibles gracias al caballo, la mula y el camello, y animales fuertes aunque lentos, como el buey y el búfalo de agua, proporcionaron tracción para tirar de carros y arados. Además, con la invención del arnés collar en la China del siglo v, también los caballos pudieron usarse para la tracción, una mejora que aumentó muchísimo la productividad agrícola

medieval en los duros suelos de la Europa septentrional. La domesticación de estos animales para sustituir la fuerza humana fue la primera fase en el relato paulatino del control de cada vez más fuentes de energía por parte de la humanidad.[59] La energía animal no tuvo rival como motor de la civilización en unos seis milenios, antes de la introducción de la energía fósil durante la Revolución industrial, cuando máquinas de vapor accionadas por carbón empezaron a propulsar trenes y buques, y, posteriormente, el motor de combustión interna, alimentado con combustibles líquidos refinados a partir de crudo de petróleo, nos permitió recorrer grandes distancias a una velocidad asombrosa.

Veamos ahora las fuerzas planetarias que crearon estas especies animales y vegetales fundamentales que acabamos domesticando.

Revolución sexual

Nuestro mundo moderno de rascacielos relucientes y vuelos intercontinentales se alimenta todavía de las especies herbáceas que nuestros antepasados domesticaron hace unos 10.000 años. Estos cereales básicos proporcionan la mayor parte de nuestras necesidades energéticas cotidianas, pero, desde luego, no solo de pan vive la humanidad. Nuestra dieta incluye también otras muchas variedades de frutos y verduras. Sin embargo, a pesar de su aparente diversidad, prácticamente todas las plantas que consumimos son miembros de un grupo concreto, las llamadas «angiospermas». Explicaré en breve sus características, pero primero veamos algunas formas más antiguas de vegetación para poner en perspectiva las asombrosas innovaciones evolutivas de las angiospermas.

Los primitivos árboles del periodo Carbonífero, que habrían de proporcionar las enormes reservas de carbón que harían funcionar la Revolución industrial, y que todavía nos suministran un tercio de la energía que consumimos en la actualidad,[60] eran un tipo de plantas formadoras de esporas. Al igual que los

helechos actuales, se reproducían liberando esporas al viento que, si caían en el suelo adecuado, germinaban y crecían hasta dar lugar a una diminuta planta verde y con hojas, pero con solo la mitad de su dotación completa de material genético. Era esta fase vegetal independiente la que estaba equipada para el sexo, y producía espermatozoides que nadaban en películas de agua situadas en el suelo hasta el óvulo de una planta cercana. Una vez fecundada para reconstituir un conjunto completo doble de cromosomas, el óvulo crecía entonces hasta formar un árbol nuevo y de buen tamaño. Esta manera de reproducirse parece realmente rara. Es como si los humanos procrearan rociando su esperma y sus óvulos en el suelo frente a ellos, que luego se desarrollara cada uno en una versión en miniatura de sí mismo, y después tuvieran que aparearse entre sí para crear una persona adulta. Además, esta estrategia reproductiva funcionaba bien en el caso de las plantas productoras de esporas de las cuencas pantanosas del Carbonífero, pero para este ciclo biológico alternante se hallaban biológicamente limitadas a suelos empapados.

Las gimnospermas (plantas con «semillas desnudas») aparecieron al final del Carbonífero y se desarrollaron en todas las coníferas de hojas perennes que nos son familiares en la actualidad, entre ellas los abetos, los pinos, los cedros, las píceas, los tejos y las secuoyas. Evolucionaron para suprimir definitivamente esta fase intermedia del ciclo biológico. Una vez polinizadas, las gimnospermas producen semillas que están expuestas sobre las escamas de sus conos. Estas semillas caen al suelo, protegidas por una cubierta y con una pequeña provisión de energía almacenada, y esperan a las condiciones adecuadas para germinar. Esta innovación evolutiva liberó a las plantas de los humedales. (En algunos aspectos, es análoga a la evolución de los reptiles que, a diferencia de los anfibios, no necesitan volver al agua para reproducirse.) Mientras las gimnospermas se distribuían por todo el mundo, otras especies de plantas quedaron, o bien literalmente ensombrecidas (los helechos sobrevivieron sobre todo en el sotobosque umbrío), o bien (como el ginkgo en el centro de China) continuaron medrando solo en zonas aisladas. Las gimnospermas siguen siendo

muy comunes en la actualidad, y crecen como densos bosques de coníferas (abetos, pinos y alerces) en el ecosistema de taiga que se extiende entre la tundra ártica y las praderas norteamericanas y las estepas euroasiáticas. Han sido importantes a lo largo de la historia humana como fuente de madera blanda para materiales de construcción o de pulpa para fabricar papel, y figuran como un ingrediente menor en nuestra dieta, por ejemplo, en forma de piñones tostados y esparcidos en una ensalada o molidos en el pesto.

Las gimnospermas de semillas desnudas dominaron la vegetación de la Tierra durante unos 160 millones de años, pero en la actualidad son las angiospermas las que lo hacen, tanto por su rica diversidad de especies como por el abanico de diferentes hábitats de todo el planeta que han llegado a domeñar: bosques deciduos en regiones templadas, pluviselvas tropicales, vastas llanuras herbáceas en regiones más secas y plantas crasas en los desiertos. Las angiospermas han llevado su vida sexual a un nivel todavía más elevado. Sus óvulos no quedan desnudos, sino que están contenidos en un órgano especial, originalmente adaptado a partir de una hoja enrollada, dentro del cual se desarrollan las semillas («angiospermas» significa «semillas encerradas»).[61]

Sin embargo, una característica definitoria mucho más perceptible de estas plantas es la manera en que adornan y anuncian sus órganos sexuales con llamativas exhibiciones en el desarrollo de la flor. Este invento evolutivo permitió a las angiospermas reclutar a una enorme gama de insectos (así como aves y algunos murciélagos y otros mamíferos)[62] para que las ayudaran a transferir polen de una planta a otra. Es probable que las primeras flores fueran solo blancas, pero al desarrollarse conjuntamente estas plantas y sus polinizadores (uno de los mayores relatos de coevolución en la historia de la vida en la Tierra), el mundo explotó en una profusión de colores florales y aromas excitantes. Los órganos sexuales especializados de las angiospermas que florecían no solo les permitieron incorporar animales para que las ayudaran en su reproducción, sino que el ovario que contiene las semillas se desarrolló asimismo en una estructura carnosa para facilitar su dispersión; produjo el fruto.

A finales del Cretácico, el último periodo de los dinosaurios, el mundo vegetal de nuestro planeta ya habría empezado a parecerse mucho al de hoy en día, con las familias de los sicómoros, plátanos, robles, abedules y alisos ya bien establecidas. Pero había una excepción flagrante: las llanuras abiertas y desprovistas de árboles en las zonas más secas de los continentes debían de parecer siniestramente diferentes. Aunque ya existían formas primitivas de brezos y ortigas, las especies de hierbas no aparecieron por evolución hasta el final de dicho periodo.[63] Los dinosaurios vagaban sobre terreno completamente desprovisto de hierba.

Nuestra evolución como primates y nuestro desarrollo como cazadores-recolectores dependieron de los frutos, los tubérculos y las hojas de plantas angiospermas. Y la agricultura que adoptamos se basa casi en su totalidad en estas. Los cereales lo son; de hecho, el grano que cosechamos es botánicamente el fruto de las plantas herbáceas.[64] Los indicios de hierbas aparecen por primera vez en el registro fósil hace unos 55 millones de años, pero, con el enfriamiento y la desecación persistentes del planeta durante el Cenozoico, los ecosistemas dominados por ellas se establecieron en muchas partes del mundo hace entre 20 y 10 millones de años.[65] De modo que nuestra propia evolución no solo fue impulsada por la aridificación de África oriental, sino que el enfriamiento y la desecación del mundo en su conjunto crearon las condiciones para la expansión de las plantas que habríamos de domesticar como cultivos básicos para alimentar a nuestras civilizaciones a lo largo de la historia. Y prácticamente todas las demás plantas que comemos son también miembros de una de las ocho familias de angiospermas.

Después de las hierbas (o gramíneas), la segunda familia más importante es la de las leguminosas, que incluyen los guisantes y las habichuelas, la soja y los garbanzos, así como la alfalfa y el trébol que damos de comer a nuestro ganado. Las brasicáceas incluyen la colza y el nabo, y una única especie de esta familia, una mostaza que es una mala hierba, fue transformada al acentuar diferentes rasgos mediante la cría selectiva para que nos diera el repollo, la berza, las coles

de Bruselas, la coliflor, el brécol y el colirrábano.[66] Otros grupos de angiospermas incluyen las familias de la belladona: las patatas, los pimientos y los tomates; la familia de las calabazas, los calabacines y los melones, y la familia del perejil, que incluye también la chirivía, la zanahoria y el apio.

La mayoría de las frutas que consumimos proceden, o bien de la familia de la rosa (como las manzanas, las peras, los melocotones, las ciruelas, las cerezas y las fresas), o bien de la familia de los cítricos (las naranjas, los limones, los pomelos, los quinotos). La familia de las palmas ha desempeñado asimismo un papel importante en la historia, al proporcionarnos el coco y, de manera más influyente, el dátil, que sirvió como un recurso alimentario ligero y concentrado para las caravanas comerciales que cruzaban los desiertos de Oriente Próximo.

De estas familias de angiospermas comemos diferentes partes de la planta. Nos gustan los frutos que fueron diseñados evolutivamente por ellas para que resultaran atractivos y sabrosos para los animales, con el objetivo de que estos las ayudaran a dispersar sus semillas. Las plantas también crean almacenes de energía internos para accionar su crecimiento la primavera siguiente; se trata de las raíces y los tallos de las verduras que cultivamos. Las raíces hinchadas incluyen la mandioca, los nabos, las zanahorias, los colinabos, las remolachas y los rábanos, y el tubérculo de una patata o un ñame es la sección hinchada del tallo de la planta. Comemos las hojas de repollos, espinacas, acelgas y coles chinas, así como otras plantas de ensaladas y condimentos; y la coliflor y el brécol que consumimos son de hecho capítulos florales inmaduros. Así, en su conjunto, no solo nos alimentamos a base de hierbas, sino también de parientes del arbusto del rosal y de la mortífera belladona. Y, además de proporcionarnos nutrientes, las angiospermas también nos dan fibras, como el algodón, el lino, el sisal y el cáñamo, así como una serie de medicinas naturales.

Los APP de la civilización

Aunque cultivamos y comemos una panoplia bastante amplia de diferentes especies de plantas angiospermas, hemos estado mucho más limitados en los tipos de animales grandes que domesticamos; los hemos seleccionado exclusivamente a partir de solo dos categorías de mamíferos.

Los primeros mamíferos verdaderos aparecieron hace alrededor de 150 millones de años, pero fue la extinción en masa de especies de hace 66 millones de años, que eliminó a los dinosaurios, lo que permitió que nuestros antepasados mamíferos se extendieran en los nichos que habían dejado vacantes los reptiles. Sin embargo, los tres principales órdenes de mamíferos que dominan el mundo en la actualidad no surgieron ni se empezaron a diversificar hasta 10 millones de años más tarde. Se trata de los artiodáctilos, los perisodáctilos y los primates, conocidos colectivamente como «mamíferos APP».[67](16)

Nosotros formamos parte de los primates, tal como hemos visto en el capítulo 1, y por lo tanto no es necesario que siga hablando de ellos. En cambio, pudiera parecer que los artiodáctilos y los perisodáctilos corresponden a especies extrañas, pero el lector está íntimamente familiarizado con ellas. De hecho, podría decirse que proporcionaron la base misma de la civilización humana. Son las dos ramas de los ungulados, o mamíferos con pezuñas. Los artiodáctilos tienen los dedos de las patas pares y las pezuñas hendidas; los perisodáctilos son los ungulados de dedos impares.

Los artiodáctilos, de dedos pares, incluyen a los cerdos y los camellos, así como a otros rumiantes: los antílopes, los ciervos, las jirafas, los toros, las cabras y las ovejas. Los rumiantes consiguieron habérselas con el reto de descomponer las duras hierbas mediante la regurgitación del bolo alimenticio para volver a masticarlo, y después emplear bacterias en el primero de los cuatro compartimentos del estómago, el rumen, para fermentar el material vegetal y ayudar a que se descompusiera químicamente, antes de que pasase por el resto del sistema digestivo para absorber los nutrientes. (Tal como hemos visto con anterioridad, la humanidad encontró soluciones tecnológicas a los mismos problemas biológicos.) En la actualidad, los artiodáctilos son los grandes

herbívoros dominantes en el mundo. Su pezuña hendida la constituyen dos dedos, que corresponden a los dedos tercero y cuarto de nuestra mano.(17)

Los perisodáctilos, de dedos de las patas impares, incluyen a los caballos, los asnos y las cebras, así como a los tapires y los rinocerontes. Poseen tres dedos, como los rinocerontes, o solo uno, como los caballos. Efectivamente, estos últimos galopan sobre el mismo dedo que usamos para hacer un corte de mangas. A diferencia de los rumiantes, son fermentadores del intestino posterior y tienen un estómago más simple. Albergan bacterias para fermentar y ayudar a liberar los nutrientes de las plantas en una bolsa muy abultada situada en el intestino, el llamado «ciego».(18)

Resulta asombroso que la inmensa mayoría de los animales grandes que hemos domesticado a lo largo de los últimos 10.000 años, y de los que ha llegado a depender la civilización humana por su carne, sus productos secundarios y su energía muscular, sean todos miembros de un solo grupo de mamíferos. Pero hay algo igualmente fascinante y significativo acerca de cómo aparecieron por vez primera estos ungulados.

Una fiebre del mundo

El hecho más sorprendente es que los órdenes de los artiodáctilos y de los perisodáctilos, junto con el de los primates, aparecieron de repente, en un periodo de unos 10.000 años, en una explosión de diversificación evolutiva que tuvo lugar hace 55,5 millones de años. Resulta que tanto nuestros antepasados, que al final evolucionarían hasta *Homo sapiens* en África oriental, como los grupos de animales que acabarían siendo tan vitales para la domesticación y el desarrollo de las civilizaciones, aparecieron en el mismo parpadeo del tiempo planetario. Y el acontecimiento que parece que desencadenó el rápido surgimiento de estos mamíferos APP cruciales fue un espasmo planetario singular: un incremento súbito de la temperatura del mundo.[70](19)

Este calentamiento notablemente rápido del clima mundial señala el límite entre las épocas geológicas del Paleoceno y el Eoceno, de modo que se lo conoce como el Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno (MTPE). A lo largo de un lapso geológico muy breve, de menos de 10.000 años, cantidades enormes de carbono —dióxido de carbono (CO_2) o metano (CH_4)— fueron inyectadas en la atmósfera, crearon un potente efecto invernadero y, en respuesta a ello, las temperaturas globales subieron rápidamente entre 5 y 8 ºC.[71] Este incremento de la temperatura hizo que el mundo fuera más caliente de lo que lo había sido en los últimos cientos de millones de años.[72]

A pesar de este enorme impacto sobre el entorno, no se desencadenó ninguna extinción en masa análoga a la que hubo al final del Cretácico o al final del Pérmico (véanse las pp. 50 y 158-161), aunque los ecosistemas del mundo se transformaron por completo. Las condiciones tropicales se extendieron directamente hasta los polos, con árboles de hoja ancha, cocodrilos y ranas medrando en el Ártico.[73] El MTPE causó la desaparición de algunas amebas del mar profundo, llamadas «foraminíferos», que fueron incapaces de soportar las aguas más cálidas y la reducción de oxígeno en las profundidades,[74] mientras que organismos del plancton, como los dinoflagelados, florecieron en la superficie de los océanos, iluminada y templada. La alteración ambiental a escala mundial del MTPE impulsó asimismo la rápida evolución de muchos animales,[75] y, en particular, parece que marcó el inicio de la aparición de los nuevos órdenes de mamíferos APP.[76]

Cabría esperar que el súbito caldeamiento de la atmósfera de la Tierra fuera el resultado de la actividad volcánica, como ha ocurrido en numerosas ocasiones en la historia de nuestro planeta. Pero lo curioso es que la causa de la mayor parte de esta enorme y repentina liberación de carbono que desencadenó el pico de temperatura no fue volcánica, sino biológica.(20)

Se cree que una erupción volcánica inicial liberó suficiente dióxido de carbono para caldear lo bastante los océanos como para desestabilizar los

depósitos submarinos de un tipo de hielo denominado «clatratos de metano». El hielo de clatrato se forma bajo las condiciones frías y de presión elevada del fondo del mar, y atrapa gas metano producido originalmente por las bacterias de la descomposición. Pero si estos clatratos se calientan, se deshacen y liberan el metano atrapado, que burbujea en el agua y se incorpora a la atmósfera. Este es uno de los gases de efecto invernadero más potentes (el resultado de su captación de calor es más de ochenta veces superior al del dióxido de carbono), de modo que el primer metano que fue liberado causó más caldeamiento, que desestabilizó todavía más hielo de clatrato en un diabólico proceso de retroalimentación. Junto con el hielo de clatrato, probablemente se expulsaran más gases de efecto invernadero cuando el permafrost de la Antártida empezó a derretirse y los incendios se volvieron más frecuentes en un clima cada vez más caldeado.[77] La erupción volcánica inicial fue como el detonador de la principal carga explosiva de la liberación de carbono biológico, lo que dio lugar al clima sofocante del MTPE.

Aunque severo, este máximo de temperatura fue muy breve en términos geológicos; la atmósfera y el clima global retornaron de nuevo a sus niveles anteriores al cabo de 200.000 años aproximadamente.[78] Pero este caldeamiento global (una fiebre intensa pero pasajera del mundo, desencadenada por una gran flatulencia de metano de los océanos) condujo al surgimiento de los tres órdenes de mamíferos más fundamentales para toda la historia humana. Los artiodáctilos, los perisodáctilos y nuestro propio grupo de primates aparecieron de repente justo al principio del MTPE, y después se dispersaron rápidamente por Asia, Europa y Norteamérica.[79]

Si bien este parpadeo de temperatura extrema impulsó la aparición de los órdenes de APP, fueron el enfriamiento global y la desecación generalizada de las últimas decenas de millones de años los que crearon los ecosistemas que artiodáctilos y perisodáctilos acabaron dominando. A medida que las praderas se extendían por los continentes que se desecaban, los ungulados herbívoros proliferaron y se diversificaron en un gran número de especies diferentes, entre

las cuales figuraban los ancestros de nuestras vacas, nuestras ovejas y nuestros caballos. De modo que las praderas que proporcionaron los cereales que acabamos cultivando también suministraron el teatro evolutivo para la aparición de las especies animales de grandes ungulados que domesticamos. No obstante, cuando el mundo dejó atrás la última edad de hielo y las comunidades humanas de toda la Tierra empezaron a asentarse y a domesticar a los animales salvajes y las plantas silvestres que encontraban en su hábitat, ni los cereales ni las especies de ungulados estaban distribuidos uniformemente por el planeta, algo que tuvo implicaciones profundas para el posterior curso de las civilizaciones.

La ventaja euroasiática

De las aproximadamente 200.000 especies de plantas presentes en el mundo natural, solo un par de miles son adecuadas para el consumo humano, y solo unos pocos cientos tienen potencial para su domesticación y cultivo. Tal como hemos visto antes, los alimentos básicos que han sostenido a las civilizaciones de todo el planeta a lo largo de la historia son los cereales, pero las especies de hierbas silvestres a partir de las cuales se domesticaron estos no estaban repartidas uniformemente. De las 56 hierbas que presentan las semillas más grandes y más nutritivas, 32 crecen silvestres en el sudoeste de Asia y alrededor del Mediterráneo, 6 se encuentran en Asia oriental, 4 en el África subsahariana, 5 en América central, 4 en Norteamérica y solo 2 en Sudamérica y 2 en Australia.[80]

Así, desde los mismos inicios de la agricultura y la civilización, Eurasia estaba dotada en abundancia de especies de hierbas silvestres susceptibles de ser domesticadas por la humanidad y adecuadas para sostener poblaciones humanas en aumento. Y no solo había sido casualmente bendecida con esta abundancia biológica, sino que la orientación misma del continente promovió en gran medida la propagación de los cultivos entre regiones distantes. Cuando el

supercontinente Pangea se fragmentó, se resquebrajó a lo largo de fisuras que dejaron Eurasia como una enorme masa de tierra extendida en dirección este-oeste; el continente ocupa más de un tercio de la circunferencia del planeta, pero sobre todo dentro de un rango de latitudes relativamente estrecho. Puesto que es la latitud de la Tierra lo que determina en gran medida el régimen climático y la duración de la estación de crecimiento, las plantas domesticadas en una parte de Eurasia pueden ser trasplantadas por todo el continente con solo una mínima necesidad de adaptación al nuevo emplazamiento. Así, el cultivo del trigo se extendió sin problemas desde las tierras altas de Turquía hacia Mesopotamia y Europa, y en la otra dirección directamente hasta India, por ejemplo. En cambio, los continentes gemelos de las Américas, aunque unidos por el puente del istmo de Panamá, poseen una orientación norte-sur. Allí, la difusión de plantas originalmente domesticadas en una región hacia otra conllevó un proceso mucho más difícil de readaptación de las especies de plantas a diferentes condiciones de crecimiento. Esta diferencia fundamental en la disposición del Viejo Mundo en relación con la del Nuevo Mundo, fruto ambas de la tectónica de placas y del desplazamiento al azar de los continentes hasta llegar a su configuración actual, confirió a las civilizaciones de Eurasia una gran ventaja de desarrollo a lo largo de la historia.[81]

La distribución de animales grandes en todo el mundo fue también desigual, y las sociedades radicadas en Eurasia contaron en este sentido con otra ventaja. Los atributos de un animal salvaje que lo hacen apto para la domesticación por parte de los humanos incluyen que proporcione alimento nutritivo, una naturaleza dócil y que no sienta un miedo instintivo hacia las personas, un comportamiento gregario natural y la capacidad de ser criado en cautividad. Pero solo un reducido número de animales salvajes cumplen todos estos requisitos. [82] De las 148 especies de mamíferos grandes de todo el mundo (de un peso superior a los 40 kilos), 72 se encuentran en Eurasia, 13 de las cuales fueron domesticadas. De las 24 que se encuentran en las Américas, solo la llama (y su pariente cercano, la alpaca) fue domesticada en Sudamérica. Norteamérica, el

África subsahariana y Australia carecían por completo de animales grandes y domesticables. Los cinco más importantes a lo largo de la historia humana (la oveja, la cabra, el cerdo, la vaca y el caballo), así como el asno y el camello, que proporcionaron transporte en regiones concretas, estaban presentes únicamente en Eurasia, y a los pocos miles de años de su domesticación se habían extendido por todo el continente.[83] Son las grandes especies de mamíferos las que han resultado ser más influyentes a lo largo de la historia, no solo por su carne, sino también por sus productos secundarios (leche, cuero y lana) y por su energía muscular.

Los équidos (especies emparentadas con los caballos) evolucionaron en las llanuras herbáceas de Norteamérica, pero al final de la última edad de hielo los únicos cuatro grupos que sobrevivían se encontraban todos en Eurasia: los onagros en Oriente Próximo, los asnos en África del Norte, las cebras en el África subsahariana y el caballo en el anillo de estepas de Eurasia. De forma similar, el ancestro del camello moderno (que, junto con el caballo, fue el otro animal que desempeñó la función crucial de transportar cargas o jinetes humanos a largas distancias) vivía en el clima frío del Alto Ártico canadiense y cruzó el puente continental de Bering hasta Eurasia con los niveles del mar bajos de una edad de hielo pretérita. Los camellos bactrianos, de dos gibas, presentes en Asia son descendientes directos de estos inmigrantes americanos, y en los desiertos más cálidos de África y Arabia el dromedario, de una sola giba, evolucionó para minimizar su superficie y con ello la pérdida de agua. Estos camellos se convirtieron en el espinazo de las largas rutas comerciales que atravesaban el Sáhara, la península Arábiga y los desiertos situados a lo largo del borde meridional del cinturón de estepas asiáticas. Los camélidos migraron también a través del istmo de Panamá en dirección a Sudamérica, donde se desarrollaron hasta dar lugar a la llama y la alpaca, pero como bestia de carga la llama no puede llevar mucho más peso que un hombre, y las alpacas se utilizaban solo por su vellón.[84]

La gran ironía del impedimento biológico al que se enfrentaron las

civilizaciones americanas es que estos dos grupos de animales, que resultaron tan fundamentales para el transporte y el comercio en toda Eurasia, habían evolucionado de hecho en las Américas, y después migraron a Eurasia a través del puente continental de Bering.[85] Pero tanto el caballo como el camello se extinguieron después en su cuna, probablemente debido a la caza excesiva de que fueron objeto por parte de los primeros humanos que cruzaron el mismo puente continental en dirección opuesta durante la edad de hielo más reciente. Los primeros americanos pusieron trabas, sin saberlo, al desarrollo futuro de civilizaciones en todo su continente.

El asno, el caballo y el camello resultaron básicos para los viajes y las rutas comerciales que atravesaban las estepas, los desiertos y los pasos de montaña de Eurasia, Arabia y África, que fortalecieron mucho las economías y permitieron el traslado de personas, recursos, ideas y tecnologías por todo el Viejo Mundo. Las Américas, en cambio, se empobrecieron biológicamente y no pudieron beneficiarse de estas revoluciones. El camello no regresó nunca en cantidades importantes, pero el caballo sí que retornó a sus tierras nativas de la mano de los conquistadores españoles a principios del siglo XVI. Y cuando el contacto entre los dos mundos se renovó a lo largo de aquel siglo, fueron los estados europeos, los herederos de aquella riqueza acumulada en Eurasia, los que acabaron por dominar las culturas de las Américas.[86]

Cuando la humanidad surgió en el Cenozoico, la era de la «nueva vida», llegó a un mundo caracterizado por las angiospermas y los mamíferos: plantas con semillas encerradas y animales con mamas. Pero dentro de estas categorías amplias fuimos, en conjunto, sorprendentemente selectivos en cuanto a las especies que acabamos domesticando. A lo largo de la historia, las civilizaciones han sido alimentadas con una dieta básica de cereales, derivados de especies de hierbas silvestres que proliferaron en todo el mundo cuando el clima se enfrió y se desecó durante las últimas decenas de millones de años. La extensión de estas praderas impulsó también la diversificación de las especies de ungulados que

acabamos domesticando, y que nos proporcionaron una fuente fiable de carne, leche y lana, transporte y potencia de tracción. Aun así, cuando los humanos pudieron establecerse como agricultores e iniciar la senda de la civilización poco después del final de la última edad de hielo, la distribución desigual por todo el mundo de las especies de plantas y animales domesticables, así como la orientación fundamental de los continentes, llegaron a ejercer una profunda influencia sobre las pautas de la historia.

Muchas de las primeras civilizaciones que aparecieron lo hicieron a lo largo de las riberas de ríos como el Tigris y el Éufrates, el Indo, el Nilo y el río Amarillo. Proporcionaron la savia para una agricultura solvente y las primeras ciudades, y a menudo el poder político surgió del control centralizado de sus aguas para la irrigación. La agricultura próspera se basa por completo en la interceptación de agua dulce a medida que esta completa su ciclo por todo el mundo; se evapora de los océanos, cae en forma de lluvia, se infiltra bajo el suelo y después fluye de nuevo hacia el mar. Los ríos suelen ser la fase más fiable de este ciclo del agua, y en la actualidad siguen siendo fundamentales para alimentar a mucha gente en todo el planeta. La agricultura industrializada ha sido perfeccionada hasta el punto de que puede sostener a más de 7.600 millones de personas. Alrededor del 40 por ciento de la población mundial total vive actualmente en India, China y el Sudeste Asiático, y esto nos lleva a la crítica importancia geopolítica del Tíbet.

La torre de agua

China ha controlado la meseta tibetana en varios periodos de su historia, como durante la dinastía Yuan, mongólica, en el siglo XIII, y la dinastía Qing, de principios del siglo XVIII. En época reciente, la República Popular de China gobernada por Mao Zedong se anexionó el Tíbet en 1951, y, tras un levantamiento en 1959, el líder religioso del país, el dalái lama, huyó a India,

donde un Gobierno en el exilio mantiene vivo el movimiento independentista ante la mirada internacional.

China tiene dos razones estratégicas principales para desear ejercer el control sobre la meseta tibetana. La primera es militar: garantizar que India no intente obtener una posición dominante, situándose literalmente por encima de la zona central de China, y con ello evitar la posibilidad de que use la región como un terreno de pruebas para una invasión de las llanuras situadas abajo. Aun cuando India no ocupara la meseta, a China le preocupa que, si concediera autonomía política al Tíbet, a aquella se le pudiera permitir establecer bases militares allí.[87] Pero no cabe duda de que es más importante todavía un recurso simple, pero absolutamente vital, que la meseta tibetana proporciona: agua.

El Tíbet es la meseta más alta y más extensa del mundo, y sus decenas de miles de glaciares contienen la mayor reserva de hielo glacial y de permafrost fuera del Ártico y de la Antártida. A menudo a este altiplano se lo considera el Tercer Polo del planeta.[88] El agua de deshielo de estos glaciares y de la nieve derretida forma la cabecera de diez de los mayores ríos que se extienden desde allí a toda la zona sudoriental de Asia, entre ellos el río Amarillo, el Yangtsé, el Mekong, el Indo, el Brahmaputra y el Salween. Todos estos grandes ríos transportan enormes cantidades de sedimentos erosionados de las montañas para fertilizar sus llanuras de inundación y los arrozales allí establecidos.[89]

Así, la meseta tibetana sirve como la torre de agua de toda la región continental, al almacenar y distribuir el precioso recurso a lo largo de estos ríos para proporcionar agua potable, irrigación y energía hidroeléctrica a más de 2.000 millones de personas.[90] Es este depósito de vastas cantidades de agua dulce, así como los ricos yacimientos de cobre y hierro de la meseta,[91] lo que China busca controlar para su población y economía crecientes. Se prevé que hacia 2030 el gigante asiático no alcanzará a satisfacer el 25 por ciento de sus necesidades de agua,[92] de modo que el del Tíbet no es un asunto menor. Es irrelevante si India intentará algún día apoderarse del Tíbet y limitar el flujo de los ríos para cerrarle el grifo a China; la mera posibilidad hace que esta sea

vulnerable. Asimismo, la preocupación de otros estados aguas abajo, como India, Pakistán, Nepal, Birmania, Camboya y Vietnam, es que en el futuro China pueda desviar el flujo de estos ríos tibetanos para su propio uso interno.[93]

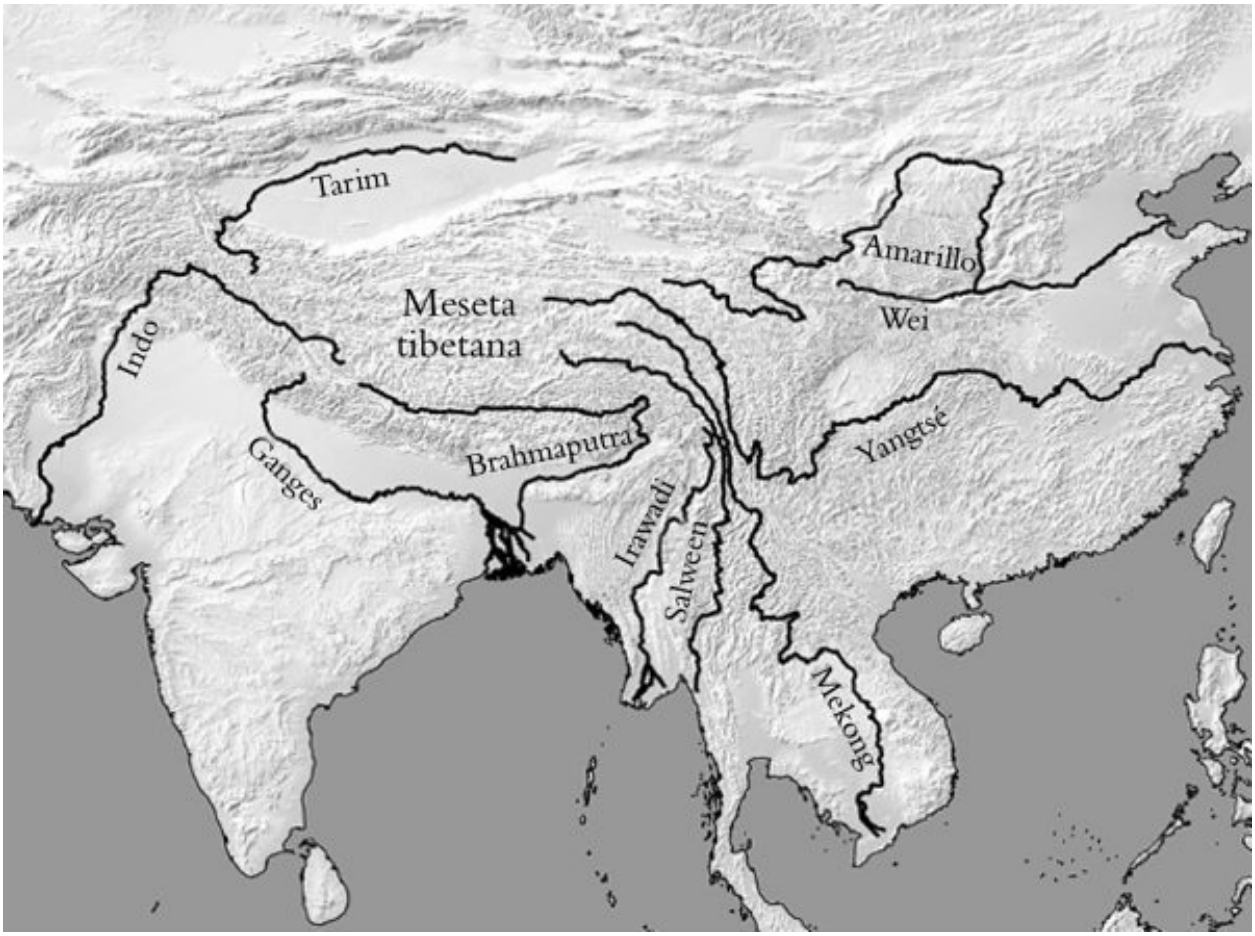


FIGURA 9. Los principales ríos que fluyen desde el Tercer Polo de la Tierra, la meseta tibetana.

Con independencia de las críticas internacionales por la ocupación del Tíbet por parte de China y los aspectos relacionados con los derechos humanos, estas tierras altas representan una preocupación geopolítica abrumadora para Beijing. Es por esta razón que el país está manteniendo el control, para lo cual construye sistemáticamente redes de carreteras y conexiones ferroviarias por toda la meseta e incentiva el establecimiento en la zona de colonos chinos de la etnia han.[94]

4

La geografía de los mares

Los océanos y mares cubren casi las tres cuartas partes de la superficie terrestre, un hecho que llevó al escritor Arthur C. Clarke a bromear con que no deberíamos llamar Tierra a nuestro planeta, sino Océano. Y, desde la perspectiva de los temas tratados en este libro, los océanos son la mejor muestra de los estrechos vínculos entre la vida en nuestro mundo y el espacio profundo. El agua de la Tierra es vital para toda la vida, pero cuando nuestro planeta se formó a partir del disco rotatorio de polvo y gas que giraba alrededor del protosol, era más bien seco. La Tierra estaba demasiado cerca del Sol para que pudiera haber mucho hielo en el material rocoso del que se conglutinó; el calor de su formación fundió totalmente el planeta, y habría expulsado el agua y cualesquiera otros compuestos volátiles. De modo que el agua que llena nuestros océanos llegó después de que la Tierra se formara, aportada por el bombardeo de cometas y asteroides helados procedentes de las regiones más frías y más remotas del sistema solar, como una nevasca llegada del espacio profundo.

Desde luego, los océanos generados por este hielo extraterrestre tienen una influencia enorme sobre los sistemas meteorológico y climático del planeta, y el agua del interior de la corteza ayuda a lubricar la maquinaria de la tectónica de placas. Sin embargo, a menudo se considera que los océanos del mundo no son más que extensiones vacías. Son los espacios en blanco en nuestros mapas, los huecos en la página que simplemente definen el contorno de las masas continentales. Hemos llegado a pensar que es en los continentes y las islas donde tiene lugar la historia y sobre los que ha transcurrido la epopeya humana a lo

largo de milenios. Pero el mar tiene una historia propia y rica que contar.

Transformar el agua en riqueza

Desde sus albores, la humanidad se ha basado en las vastedades acuáticas del planeta para obtener alimento. Los peces capturados de ríos, lagos o aguas costeras someras han proporcionado una fuente nutritiva fácilmente accesible durante decenas de miles de años.[1] Pero la pesca en mar abierto, lejos de la costa, requiere mucha mayor habilidad en cuanto a construcción naval y navegación. Los navegantes escandinavos eran consumados viajeros a grandes distancias, y hacia el año 800 d. C. habían establecido un comercio internacional del bacalao seco que producían. Esta capacidad para navegar en mar abierto la aprendieron otros europeos, y el mar del Norte se convirtió en un importante caladero.[2] Es aquí donde podemos ver lo crucial que la geografía de los mares (y en particular del paisaje del fondo marino) ha sido en la historia.

En el centro del mar del Norte, entre Inglaterra y Dinamarca, se halla el banco Dogger, un enorme banco de arena que se cree que es una gran morrena que fue amontonada allí por el casquete de hielo escandinavo durante la postrera fase glacial. En la última edad de hielo, con los niveles del mar bajos, toda esta región debía de ser tierra firme y ofrecer un excelente territorio de caza a nuestros antepasados; ha recibido el nombre de Doggerlandia. En la actualidad está sumergida, pero el banco Dogger forma una gran zona de aguas someras bajo las olas, y proporciona así un área de pesca productiva para el bacalao y el arenque. (*Dogger* es un término holandés antiguo que corresponde a una barca de pesca de arrastre.) Así, los terrenos de caza de nuestros antepasados en la Edad de Hielo se inundaron y se transformaron en una región pesquera generosa para los marineros medievales.

Este banco de arena contribuyó a impulsar la pesca en alta mar en la Europa septentrional a partir de aproximadamente el año 1000 d. C.[3] A raíz de la

competencia cada vez mayor entre pescadores y de la sobreexplotación de los bajíos más cercanos, los marineros escandinavos, vascos y de otros países europeos se internaron cada vez más en el Atlántico Norte en busca de caladeros ricos, primero en pos de bacalao y posteriormente de ballenas. Los marinos europeos se aventuraron hacia el oeste, navegando más allá de Islandia hasta Groenlandia, y siguieron después hasta la costa del nordeste de América, donde pescadores escandinavos crearon colonias en Terranova, medio milenio antes de que Colón se hiciera a la mar para cruzar el Atlántico. Fueron las lecciones aprendidas durante el proceso (en materia de náutica y construcción de naves resistentes) las que permitieron a los marinos europeos embarcarse en la era de la exploración a principios del siglo XV y establecer vastos imperios comerciales (que trataremos en el capítulo 8).[4]

Pero el mismo paisaje del mar del Norte tuvo otra influencia importante en la creación del mundo moderno. Los Países Bajos de Bélgica y Holanda se sitúan en la costa llana de la llanura del norte de Europa, y desde el siglo XIII los holandeses han estado usando molinos de viento de drenaje con el fin de crear nuevas tierras agrícolas a partir del mar y las marismas.[5] En efecto, han estado recuperando porciones de la Doggerlandia de la Edad de Hielo desde que se volvió a sumergir por el aumento del nivel del mar. Pero la construcción de diques y molinos de viento para recuperar trechos de tierra era cara, y solo se podía financiar aunando los recursos de la comunidad. Los fondos necesarios los reunieron las iglesias locales o los concejos recolectando préstamos de los residentes, y después los beneficios agrícolas de los campos que habían sido recuperados se los repartían quienes originalmente habían financiado el proyecto. Pronto, todos los miembros de la sociedad invirtieron sus escasos efectivos en los bonos que se vendían para financiar estas grandes empresas, y ello, a su vez, creó prósperos mercados crediticios. Moldeada por las exigencias de su paisaje y por la necesidad de gestionar el mar, Holanda se convirtió en una tierra de capitalistas.[6]

Este sistema hizo de forma natural la transición al comercio internacional en el siglo XVII; hay solo un pequeño paso entre comprar acciones en la construcción de un molino de viento local y financiar un buque mercante con destino a las islas de las Especias. La práctica de dividir el coste total de un proyecto en acciones parciales también permitió a los inversores repartir el riesgo; podían invertir pequeñas cantidades de dinero en varios viajes, de modo que, si se perdía algún barco, no se vieran tan afectados. Esto animó a la gente a invertir su dinero en lugar de simplemente ahorrarlo, lo que hizo que los tipos de interés de los créditos fueran bajos y el capital para ulteriores empresas fuera barato. Los holandeses también adoptaron con entusiasmo, y perfeccionaron mucho, el concepto de mercado de futuros. Se trata de la capacidad de negociar el precio de una determinada mercancía en algún momento del futuro; por ejemplo, garantizar el precio de cincuenta kilos de bacalao desembarcado del banco Dogger en el curso de la semana siguiente, o al cabo de un año. Estos derivados pueden entonces comprarse y venderse, como los productos reales, lo cual crea un comercio no de existencias, sino de abstracciones.

El primer banco central nacional, así como el primer mercado de valores formal, fueron fundados en Amsterdam en los primeros años del siglo XVII,[7] época en que Holanda se había convertido en el país más desarrollado de Europa desde el punto de vista financiero.[8] Estos instrumentos de capitalismo formalizado se extendieron rápidamente a otras naciones y crearon las instituciones financieras necesarias para la Revolución industrial. Al igual que los molinos de viento de los Países Bajos medievales, los molinos, las fábricas y las máquinas de vapor de Gran Bretaña habrían sido prohibitivamente caros de construir sin juntar el capital de diferentes inversores confiados.[9] Las innovaciones financieras holandesas ayudaron a construir el mundo moderno, y habían surgido de su paisaje bajo y de la necesidad de arrebatarle tierras al mar.

Las aguas saladas del planeta han sido fundamentales en el relato humano por otras muchas razones. El mar puede aislar a un pueblo del resto del mundo, que

es lo que ocurrió en Tasmania, por ejemplo. Allí los habitantes quedaron separados del continente por el aumento del nivel del mar después de la última era glacial. La población de la isla era demasiado pequeña para mantener tecnologías y utensilios, tales como redes de pesca y lanzas, a lo largo de generaciones, y fueron olvidados.[10] O, como hemos visto, el mar puede ayudar a protegerse de una invasión y a mantener la independencia de una nación insular, como Gran Bretaña. Los océanos son como los desiertos en tierra; no son habitables,(21) pero pueden ser atravesados para transportar mercancías y personas. Sin tener en cuenta el oleaje en las tempestades, la superficie del mar es un medio convenientemente llano y sin grandes obstáculos que facilita el comercio a grandes distancias. Los puertos se sitúan en la interfaz entre la tierra y el mar, y allí las mercancías son transferidas de los buques a barcazas o a carros (o, más recientemente, a trenes y a camiones) para que prosigan su viaje hasta donde se las necesite tierra adentro, y muchos de estos puertos se convirtieron en ciudades prósperas y políticamente poderosas. Al dominar la navegación oceánica, los estados europeos edificaron inmensos imperios marítimos desde los inicios del siglo XVI, y proyectaron su poder a distancias enormes con la ayuda de flotas de fortalezas flotantes repletas de cañones. Asimismo, los cuellos de botella de las rutas marítimas, allí donde los buques se ven obligados a cruzar estrechos angostos, son, desde el punto de vista estratégico, tan fundamentales en la actualidad para la geopolítica y el juego de poder entre los estados como lo fueron hace milenios.

De estas variadas maneras, las enormes zonas pintadas de azul en nuestros mapamundis son tan importantes a la hora de modelar la historia humana como los elementos pintados de verde, pardo y blanco que indican llanuras, bosques, desiertos y cordilleras nevadas en tierra. Al igual que este paisaje seco, la geografía de los mares ha dirigido nuestros asuntos a lo largo de la historia. Empecemos considerando el Mediterráneo.

El mar interior

La región Mediterránea es uno de los ambientes tectónicos más complejos de la Tierra. Aquí la placa Africana es empujada hacia el norte y se subduce bajo la euroasiática, con un conjunto desordenado de varias placas más pequeñas atrapadas entre las dos mayores, que impulsan un frenesí de actividad volcánica y de formación de montañas. El Mediterráneo ha albergado asimismo a lo largo de la historia una interacción vibrante de civilizaciones, han aparecido diversas culturas que se han desarrollado, han intercambiado entre ellas recursos e ideas, han competido y han ido a la guerra unas contra otras, todas dentro de un espacio en cierto modo reducido y compacto. ¿Acaso estos dos fenómenos están relacionados? ¿Existen buenas razones por las que el entorno tectónico del Mediterráneo ofrecía un marco particularmente fértil para promover antiguas civilizaciones?

Durante milenios, el mar Mediterráneo ha bullido de actividad marítima. Desde los mercaderes minoicos y fenicios de la Edad del Bronce hasta los imperios comerciales de Génova y Venecia en la Edad Media tardía, pasando por las ciudades Estado griegas y el Imperio romano, este mar de forma ovalada ha conectado los pueblos y las culturas situados en sus costas. El Mediterráneo es un mar interior en el que las travesías suelen ser bastante breves. Las elevadas cordilleras a lo largo de la costa septentrional, creadas por las placas tectónicas trituradoras, proporcionan útiles puntos de referencia para navegar lejos de la costa. Y la angostura del estrecho de Gibraltar, donde el Mediterráneo se une al Atlántico, implica que generalmente las mareas del interior del primero sean mínimas (cuestión de pocos centímetros) y no existan corrientes superficiales importantes que lo aparten a uno de su rumbo. Aun así, el Mediterráneo experimenta tempestades violentas, y el régimen de vientos lo complica el aire que fluye desde las masas continentales que lo rodean. Pese a todo, en su conjunto este mar interior está dispuesto de modo ideal para la comunicación y

el comercio entre culturas. A lo largo de la historia ha existido, no obstante, un sesgo evidente: la inmensa mayoría de las civilizaciones han florecido en las costas septentrionales del Mediterráneo, no en las meridionales.

Incluso si se observa distraídamente, en el mapa del Mediterráneo se advierte algo curioso acerca del contorno de su mitad septentrional en comparación con la meridional, la costa de África. Aquella está tachonada de islas. Estas oscilan, en cuanto a tamaño, desde las diminutas motas del archipiélago de las Cícladas en el sur del Egeo hasta grandes masas de tierra de algunos cientos de kilómetros de diámetro: Cerdeña, Creta y Chipre. Muchas de estas islas mediterráneas son ahora centros turísticos populares, pero el enorme número de ruinas antiguas desperdigadas por ellas atestiguan lo fundamentales que fueron a la hora de preparar el terreno para la civilización durante la Antigüedad. Y no es solo la multitud de islas que sobresalen de las aguas del Mediterráneo lo que distingue el norte del sur. La línea costera alrededor de la ribera superior es también fantásticamente detallada: está repleta de ensenadas, calas, cabos y bahías. La costa y las islas del Egeo, la región que albergó muchas ciudades Estado de la Antigua Grecia, por ejemplo, constituyen una tercera parte de la longitud de toda la costa del Mediterráneo, pero solo una minúscula fracción de su superficie terrestre.[11] En comparación, la costa africana es solo un poco... bueno, llana. La que recorre las modernas Argelia, Túnez, Libia y Egipto es lisa hasta la monotonía y carece en buena medida de islas litorales.

Cabría pensar que una extensión terrestre fragmentada en muchas fracciones pequeñas debió de ser un impedimento para las sociedades iniciales. Pero, antes del desarrollo de las carreteras, las vías férreas y los motores modernos, los viajes y el comercio a través de rutas terrestres eran arduos. El transporte a lo largo de ríos apacibles, o navegando por el mar, era mucho más fácil y rápido, especialmente cuando se llevaban cargamentos voluminosos para el comercio a larga distancia. De modo que la segmentación de la costa septentrional en muchas pequeñas bolsas de tierra, separadas por las aguas relativamente calmadas del Mediterráneo, supuso una enorme ayuda para el traslado de

personas y bienes entre ciudades Estado y reinos. Los litorales del norte proporcionaban asimismo una gran selección de buenos puertos naturales. En resumen, el Mediterráneo septentrional posee una disposición ideal para la actividad marítima, y en consecuencia muchas culturas antiguas florecieron a lo largo de sus costas.[12]

La línea costera africana que forma la ribera meridional del Mediterráneo es, en cambio, en conjunto lamentablemente poco favorable para las sociedades marineras. Ofrece muy pocos puertos naturales protegidos, e inmediatamente detrás tiene el desierto, que ha impedido la agricultura y el asentamiento humano. Las culturas que lograron sobrevivir en la costa de África del Norte estuvieron por lo general limitadas a delgadas franjas de tierra a lo largo del litoral donde era posible la agricultura; pero con la excepción de la civilización egipcia, sustentada por el poderoso Nilo, no pudieron extenderse demasiado hacia el interior. Desde luego, ha habido algunos puertos relevantes en esta costa africana. Cartago estaba situada en el extremo del Túnez moderno, con un buen puerto natural. Este comenzó como una colonia fenicia en el año 814 a. C. y, a lo largo de los cinco siglos posteriores, llegó a dominar el comercio en el Mediterráneo occidental. Se convirtió en uno de los principales rivales de la República romana, y el conflicto entre ambos condujo a una serie de guerras que terminaron con la completa destrucción de Cartago en el 146 a. C.(22)[13]

Otra ciudad importante en la costa de África del Norte fue Alejandría, situada en el delta del río Nilo. Fue fundada por Alejandro Magno en el 331 a. C.,[14] y a su muerte se convirtió en la capital de la dinastía ptolemaica griega durante los tres siglos siguientes (hasta la muerte de Cleopatra en el año 30 a. C.). También floreció como el principal centro cultural e intelectual del mundo antiguo, en especial debido a su famosa biblioteca. La ciudad fue construida sobre una barra estable a lo largo del enorme delta fluvial, y su faro, situado en lo alto de una torre de cien metros de altura en la isla de Faros, guiaba a los barcos hasta su puerto.[15] La ubicación se eligió cuidadosamente: Alejandría fue erigida en el lado occidental del Nilo para evitar que su puerto se colmatara, pues las

corrientes marinas del Mediterráneo empujaban hacia el este los sedimentos aportados por el río. Este sedimento es transportado desde el delta en el sentido contrario de las agujas del reloj y cubre una enorme extensión del Mediterráneo oriental, produciendo una línea costera recta y arenosa. El sudeste del Mediterráneo no ofrece un puerto natural decente hasta Haifa, muy al norte, donde una montaña penetra en el mar para proteger la bahía que hay más allá y evitar que la deriva de sedimentos a lo largo de la costa la colmate.

De modo que fueron las condiciones climáticas secas de África del Norte (a las que volveremos en el capítulo 7) y su línea costera en absoluto apacible las que conspiraron para impedir la aparición de muchas grandes civilizaciones a lo largo de todo este trecho del Mediterráneo. Con las excepciones de Cartago y Alejandría, los cerca de 4.000 kilómetros de litoral africano entre el estrecho de Gibraltar y el delta del Nilo han sido muy tranquilos históricamente en comparación con la vigorosa efervescencia de diferentes culturas, ciudades y civilizaciones en las costas septentrionales.

Pero ¿cómo es posible que las orillas septentrional y meridional del mar Mediterráneo, que se encuentran separadas por no más de unos pocos cientos de kilómetros, sean tan distintas desde el punto de vista geológico? De nuevo, existen razones planetarias para esta profunda distinción.

El mar Mediterráneo de hoy en día es en realidad poco más que un charco de agua que quedó tras la desaparición de lo que antaño fue un gran océano. Hace unos 250 millones de años, la faz de nuestro mundo nos hubiera resultado prácticamente irreconocible. El movimiento incesante de las placas tectónicas hace que de vez en cuando los principales trozos de la corteza continental se unan para crear una sola masa continental unificada, un supercontinente, y, al final del periodo Pérmico, el supercontinente Pangea (que significa «toda la tierra») se extendía de polo a polo con una forma aproximada de herradura, que albergaba entre sus brazos un océano llamado Tetis.(23) Tal como muestra el mapa de la figura 10, se podría haber caminado a través de Pangea, desde el Polo Norte al Polo Sur, sin siquiera mojarse los pies, aunque habría sido necesario

atravesar las enormes llanuras desérticas de la zona central del inmenso continente.

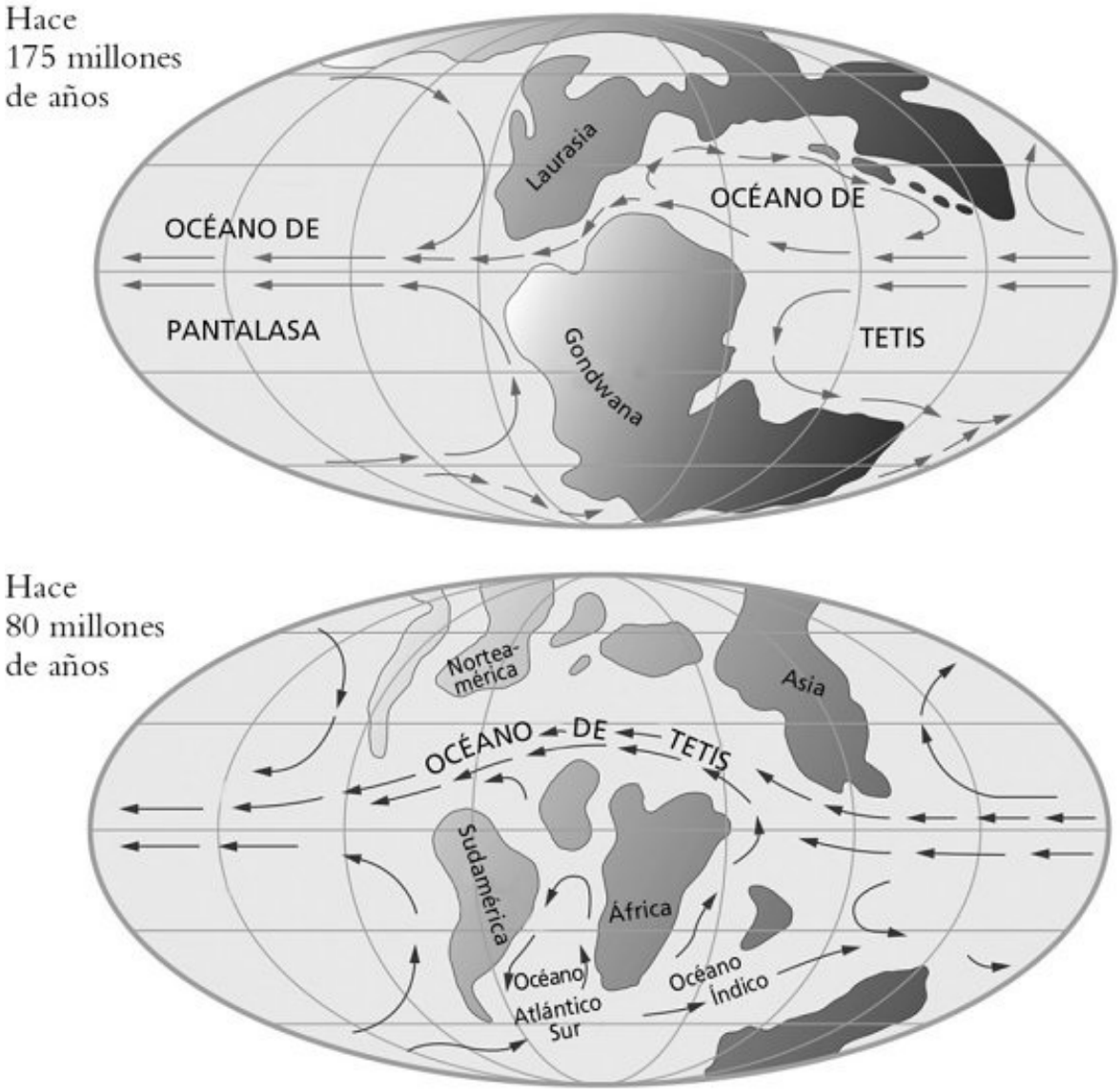
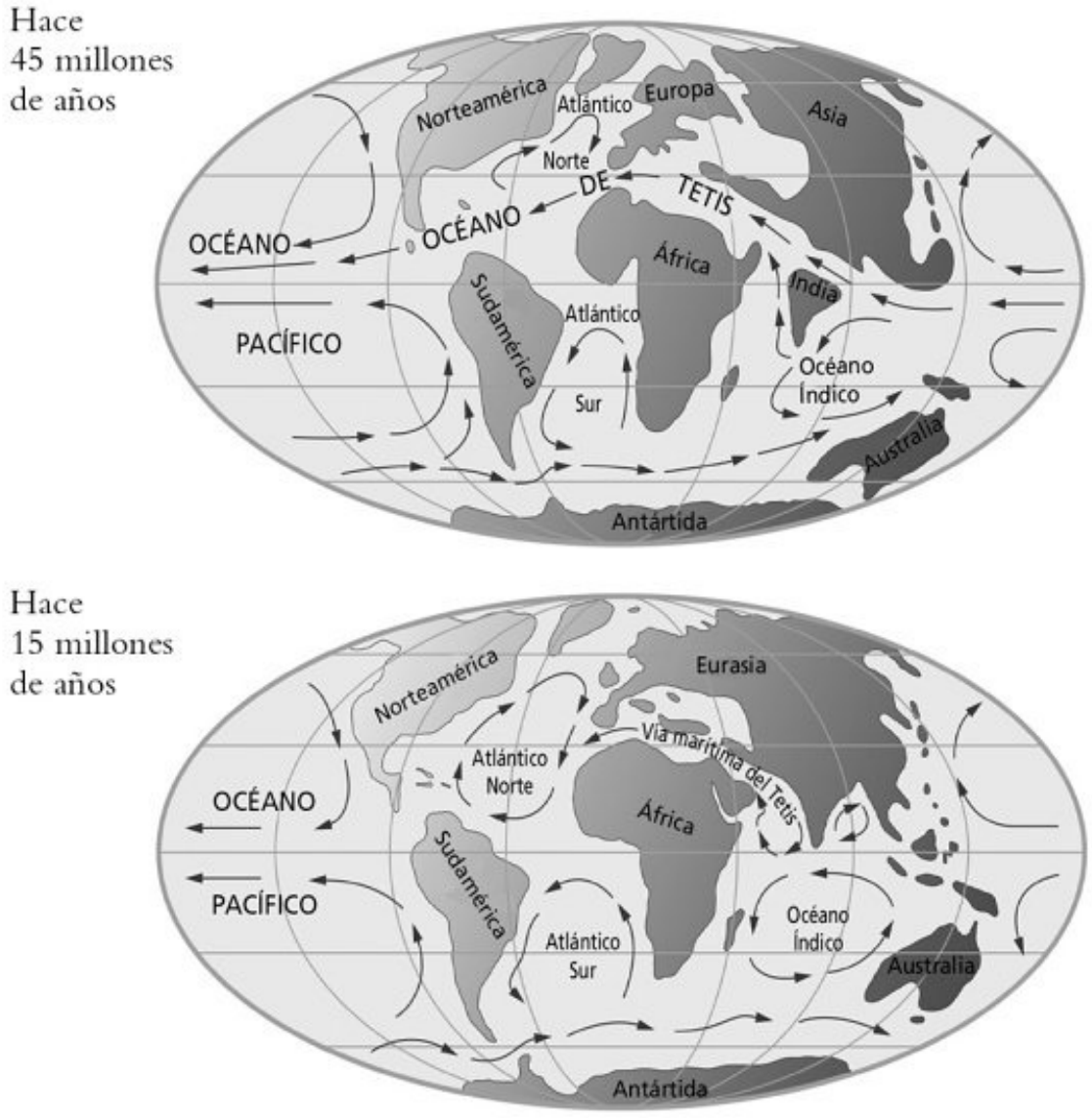


FIGURA 10. El cierre del océano de Tetis para crear el mar Mediterráneo.

Sin embargo, poco después de que se hubiera completado el ensamblaje de Pangea, el supercontinente empezó a fragmentarse de nuevo. Las masas continentales con las que estamos familiarizados en la actualidad se desgajaron unas de otras y se desplazaron hasta su configuración actual. Primero, Norteamérica empezó a separarse, desabrochándose a lo largo del rift del fondo

marino que se estaba abriendo (el cual creó el Atlántico Norte), y después Sudamérica se desgajó de África; sus líneas costeras son todavía claramente complementarias a día de hoy. India se separó de la Antártida y se dirigió hacia el norte, y África giró y se movió en dirección a Europa. En los últimos 60 millones de años, África, Arabia e India han vuelto a colisionar con Eurasia, generando la gran franja de montañas a lo largo de su margen meridional, desde los Alpes hasta el Himalaya.



Pangea ya no existe, y el océano Tetis prácticamente ha desaparecido. A medida que la placa Africana se deslizaba hacia el norte, el Tetis fue desapareciendo paulatinamente, conforme su corteza oceánica se hundía bajo Europa, y los sedimentos de sus fondos marinos se compactaron hasta formar montañas. Hace alrededor de 15 millones de años, ya no era más que un estrecho brazo de mar, todavía abierto en ambos extremos, entre la costa de África del Norte y la península Ibérica en un extremo, y a través del golfo Pérsico en el otro; también tenía un largo brazo septentrional que inundaba el oeste de Asia. Pero, cuando el mar Rojo se abrió con un rift, obligó a la península Arábiga a apartarse del Cuerno de África y a impactar en el borde meridional de la placa Euroasiática, generando la cordillera de los montes Zagros. Esto creó la región de Oriente Próximo tal como la conocemos en la actualidad, y cerró la abertura oriental del Mediterráneo. El brazo septentrional del Tetis se secó, dejando como residuos los mares Negro, Caspio y de Aral, en el oeste de Asia. Mientras tanto, dado que África seguía empujando hacia el norte, su extremo noroccidental se insertó en la península Ibérica, y finalmente aisló el Mediterráneo del Atlántico en su extremo occidental hace entre 5,5 y 6 millones de años.[16]

Completamente aislado del resto de los océanos del mundo, y situado en una zona climática cálida, el Mediterráneo fue perdiendo agua por evaporación con mayor rapidez de lo que los ríos que desaguaban en su cuenca podían reponerla, y pronto se desecó. A medida que descendía el nivel del agua, quedó dividido en dos mitades por una cresta que continúa como un ramal del macizo del Atlas en Túnez.(24) La mitad occidental del Mediterráneo se desecó del todo, y precipitó grandes depósitos de sales sobre el fondo endurecido por el sol. De hecho, el gran espesor (hasta dos kilómetros en algunos lugares)[17] de estos depósitos bajo el Mediterráneo actual indica que el mar tuvo que desecarse y volver a llenarse muchas veces sucesivamente por aguas procedentes del Atlántico.[18] Este proceso redujo el contenido de sales de los océanos mundiales cerca de en un 6 por ciento.[19] La cuenca oriental del Mediterráneo es más profunda, y recibió cierto flujo procedente del Nilo y del mar Negro a través del Bósforo, de

modo que, aunque sus aguas descendieron cientos de metros por debajo del nivel del mar, no se secó del todo sino que persistió como un lago salobre, semejante al mar Muerto actual.

FIGURA 11. El mar Mediterráneo en la actualidad, bordeado de cordilleras que el cierre del océano de Tetis solevó.

Posteriormente, hace unos 5,3 millones de años, la actividad tectónica en curso hizo que el borde occidental de la cuenca se hundiera de nuevo y el Mediterráneo se volviera a abrir, ahora de forma permanente. Las aguas del Atlántico empezaron a fluir tímidamente, antes de constituir un torrente creciente con enormes volúmenes de agua deslizándose a borbotones por la pendiente para volver a llenar la cuenca mediterránea, vacía y polvorienta, quizá en un periodo corto de solo dos años. El actual estrecho de Gibraltar fue excavado por esta megainundación.[20]

El mar Mediterráneo sigue reduciéndose en la actualidad a medida que la placa tectónica Africana continúa su desplazamiento hacia el norte, y acabará por desaparecer completamente. Y es este proceso tectónico lo que explica las diferencias geológicas entre los litorales septentrional y meridional del mar. La línea costera del Mediterráneo meridional es bastante regular y está desprovista de puertos naturales porque la placa Africana se está inclinando hacia abajo, en un proceso de subducción y destrucción a manos de la placa Euroasiática. Toda

la línea costera del Mediterráneo septentrional, en cambio, es montañosa debido a esta colisión continental. En dicha zona, la subsidencia tectónica, junto con el hecho de que ahora nos hallemos en un periodo interglacial con niveles del mar elevados, ha dado lugar a una línea costera que se sumerge. El Mediterráneo septentrional, fantásticamente intrincado con su multitud de islas, cabos, bahías y abundantes puertos naturales protegidos, es el resultado de este paisaje inundado. Ha sido este hecho tectónico fundamental lo que ha fortalecido a las culturas marítimas a lo largo de la orilla septentrional y, con ello, ha influido en la historia desde la Edad del Bronce hasta nuestros días.

El mundo de Simbad

El mar interior del Mediterráneo conectó entre sí las culturas del extremo occidental del continente euroasiático en una gran red comercial. Pero el comercio marítimo a distancias mucho mayores ha conformado asimismo la historia de la civilización. En el transcurso de los siglos, numerosas culturas e imperios han surgido en toda la mitad meridional de Eurasia, la región al sur de la gran franja de praderas y estepas áridas que atraviesa el continente (a la que volveremos en el capítulo 7). Estas sociedades comerciaban entre sí valiéndose de rutas marítimas a lo largo del margen meridional de este ancho territorio.

Las rutas marítimas que unían el este y el oeste de Asia atravesaban el océano Índico. Hacia el año 3000 a. C., mercaderes de Mesopotamia transportaban sus artículos al sur, donde los ríos Tigris y Éufrates se unen y desaguan en el golfo Pérsico. Desde allí navegaban por dicho golfo, cruzaban el angosto estrecho de Ormuz y después recorrían la costa meridional de Asia hasta la desembocadura del río Indo. Cuando la civilización se extendió a Egipto, Fenicia y Grecia en las costas del Mediterráneo, se abrió una segunda gran arteria comercial. Desde el delta del Nilo, caravanas de camellos transportaban los productos por tierra a través del desierto Oriental hasta los puertos del mar Rojo. Desde allí, los barcos

navegaban por su largo canal, alrededor del borde meridional de Arabia, y después penetraban en el océano Índico.[21]

No era un viaje fácil. Bajíos escondidos en la costa del mar Rojo hacían que la navegación fuera potencialmente peligrosa, el calor era sofocante y la aridez extrema de la región, con extensos desiertos a ambos lados, significaba que había pocas fuentes de agua dulce a lo largo de las costas. De hecho, el angosto estrecho que forma la entrada al mar Rojo acabó siendo conocido por los marineros árabes como Bab-el-Mandeb, la «Puerta de las lamentaciones». Antes de embarcarse en la larga travesía remontando el mar Rojo, los barcos hacían escala en el puerto de Adén, que se halla justo en el extremo de la península Arábiga y controla la entrada de Bab-el-Mandeb. Situado en el cráter de un antiguo volcán, Adén era una parada vital para repostar agua, y se desarrolló como atareado centro de almacenamiento y distribución hasta convertirse en una ciudad próspera y bien fortificada.(25)

Tanto la ruta del mar Rojo como la del golfo Pérsico al océano Índico eran un hervidero de buques mercantes, y ambos pasos son consecuencia del mismo episodio de actividad tectónica.[23] Tal como hemos visto en el capítulo 1, el mar Rojo es una de las tres ramas del sistema de rifts en forma de Y que rasgaron la piel del planeta cuando una enorme columna de magma se abrió paso bajo la corteza africana. El crecimiento de la rama meridional, el Rift de África oriental, preparó el terreno para nuestra evolución como especie, mientras que la fractura más profunda del noroeste arrancó la península Arábiga como una esquirla de África, y el agua entró en esta grieta de dos mil kilómetros de longitud para crear el mar Rojo.(26)

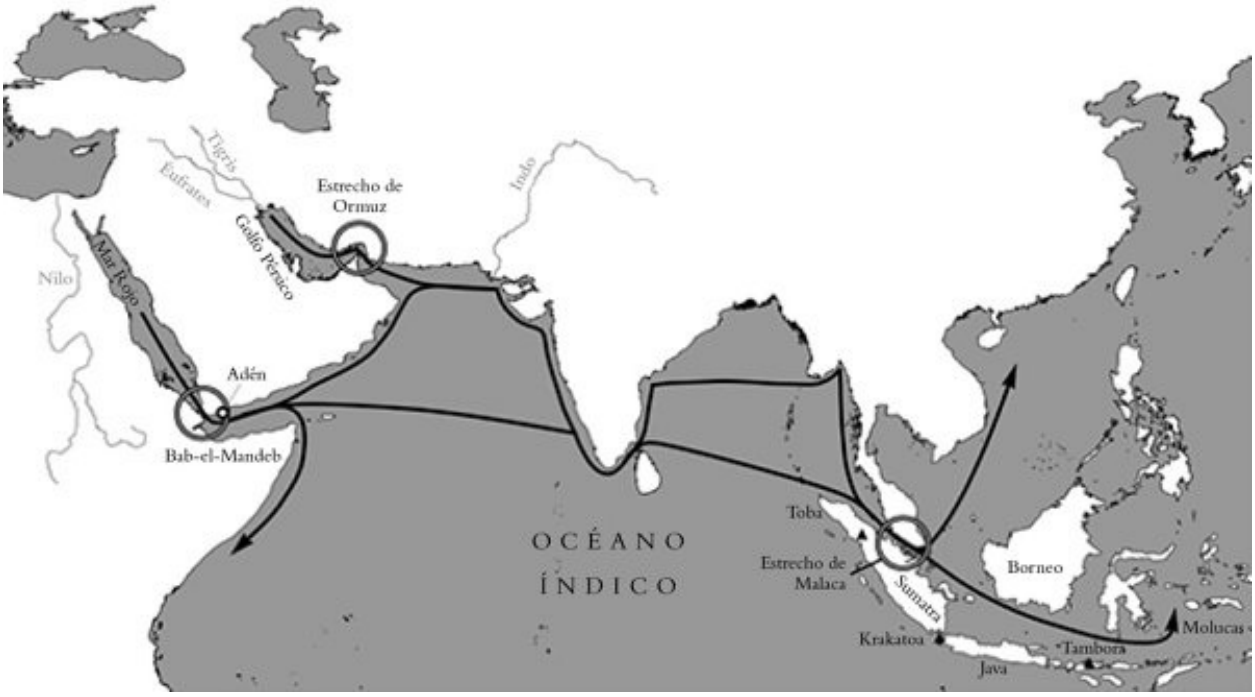


FIGURA 12. Las principales rutas euroasiáticas del comercio marítimo entre Oriente y Occidente y los estrechos más importantes.

La península Arábiga cuelga de África únicamente por un estrecho tendón de tierra en el norte (el desierto del Sinaí), y, cuando el mar Rojo se ensanchó, el bloque Arábigo giró hacia el este para impactar en el borde meridional de la placa Euroasiática. Este proceso replegó los montes Zagros, en el actual Irán, y a lo largo de los pies de esta cordillera, donde la corteza ha sido deprimida en una cuenca de antepaís en forma de cuña, el océano Índico se introdujo para crear el golfo Pérsico.

Las primeras rutas comerciales desde el mar Rojo y el golfo Pérsico hasta India se ciñeron a la línea de costa. Pero, hacia el año 100 a. C.,[24] los mercaderes del Egipto ptolemaico descubrieron cómo emplear los vientos del monzón, que en verano soplan del sudoeste, para navegar desde Bab-el-Mandeb directamente a través del océano Índico hasta la costa occidental de India en solo unas pocas semanas[25] y regresar en invierno, cuando se invierte la dirección de los vientos del monzón. Que se explotara esta característica de los patrones atmosféricos del planeta (a los que volveremos en el capítulo 8) condujo a un

aumento del comercio marítimo a través de Eurasia.[26] No obstante, a finales del siglo VII d. C. las conquistas islámicas en Arabia, África del Norte y el sudoeste de Asia habían cerrado las puertas de Bab-el-Mandeb a los marineros europeos. Durante siglos, los *dhows* y las caravanas de los mercaderes musulmanes dominaron las tres grandes rutas comerciales de este a oeste que atravesaban Asia: las travesías marítimas desde el mar Rojo y el golfo Pérsico hasta el océano Índico, y la Ruta de la Seda a través de Asia central.[27] Este es el mundo de Simbad el Marino en *Las mil y una noches*, que embarcaba mercaderías en Bagdad y, tras zarpar de Basora, navegaba por el golfo Pérsico en sus siete arriesgados viajes.

Antes del auge de la supremacía islámica sobre estas rutas comerciales, India era bien conocida por los geógrafos griegos y romanos, como Estrabón y Ptolomeo, pero, tras el bloqueo del paso del mar Rojo, el conocimiento de su ubicación se desvaneció en la oscuridad de los mitos.[28] Habría de transcurrir prácticamente otro milenio antes de que los europeos navegaran de nuevo hasta el océano Índico, como veremos en el capítulo 8. Y, cuando lo hicieron, encontraron en el Sudeste Asiático una red comercial tan vibrante como la del Mediterráneo.

El mundo de las especias

De hecho, en muchos aspectos la zona marítima del Sudeste Asiático es muy parecida al Mediterráneo, pero, en lugar de tratarse de un mar interior limitado por tierra en todo su contorno, esta región está salpicada de islas abiertas por ambos lados a los extensos océanos Índico y Pacífico. Las Indias Orientales forman parte de la plataforma continental de Eurasia; allí los mares son relativamente someros y las masas continentales son solo el terreno más elevado de este paisaje que sobresale del oleaje. Como la orilla septentrional del Mediterráneo, los márgenes de esta región son volcánicamente activos, pues las

placas indoaustraliana y pacífica se hunden bajo la euroasiática para fundirse y liberar borbotones ascendentes de magma.

Toda una cadena de volcanes recorre el espinazo de Sumatra y Java, y se curva hasta las islas de Banda. Este vulcanismo ha producido suelos fértiles, pero también algunas de las erupciones más violentas de la historia, como la del Tambora en 1815 y la del Krakatoa en 1883. La erupción del volcán Toba, en Indonesia, hace unos 74.000 años fue la mayor de los últimos dos millones. Eyectó una cantidad enorme de cenizas que cubrieron el 1 por ciento de la superficie del planeta y que tal vez oscurecieron lo suficiente los cielos para causar un enfriamiento global durante varias décadas. (Esto incluso ha dado pie a la polémica afirmación de que la erupción del Toba causó una crisis en la población humana que sobrevivió.)[29]

Mientras que el mar Mediterráneo cuenta con unos cuantos cientos de islas, el Sudeste Asiático contiene más de 26.000, que van desde masas terrestres de miles de kilómetros de longitud, como Borneo y Sumatra, hasta minúsculas motas de calderas volcánicas. Esta dispersión extrema de la superficie de tierra, junto con el terreno irregular y montañoso de las islas, inhibió la unificación del territorio en grandes imperios, a diferencia de lo ocurrido en China o en el Mediterráneo.[30] Aun así, el comercio floreció en los mares del Sudeste Asiático. Junto con el algodón de India, la porcelana, la seda y el té de China y los metales preciosos de Japón,[31] las mercancías más valoradas eran las especias: pimienta y jengibre de India, canela de la isla de Ceilán (Sri Lanka) y nuez moscada, macis y clavo de las Molucas, las «islas de las Especias».(27)

Dichas especias eran apreciadas no solo para aderezar los alimentos, sino también por las propiedades afrodisiacas y medicinales que se consideraba que tenían.[32] Las especias procedían de diferentes especies de plantas que crecen en el clima tropical de la región. La pimienta es el fruto de una enredadera de la pluviselva; el jengibre, una raíz; la canela, la corteza de un árbol y los clavos, los capullos secos de flores sin abrir. La nuez moscada es la semilla y la macis, la cubierta de la semilla del mismo árbol perenne.[33] Algunas de estas plantas

estaban muy extendidas por toda la región. La pimienta, por ejemplo, se encuentra en todo el sur y sudeste de Asia, aunque históricamente la mayor parte se producía en la costa de Malabar, en el sudoeste de India.[34] Allí, los Ghats occidentales, una cordillera baja, captan las lluvias de los monzones de verano para producir un clima húmedo y tropical perfectamente adecuado para esta enredadera en particular.[35]

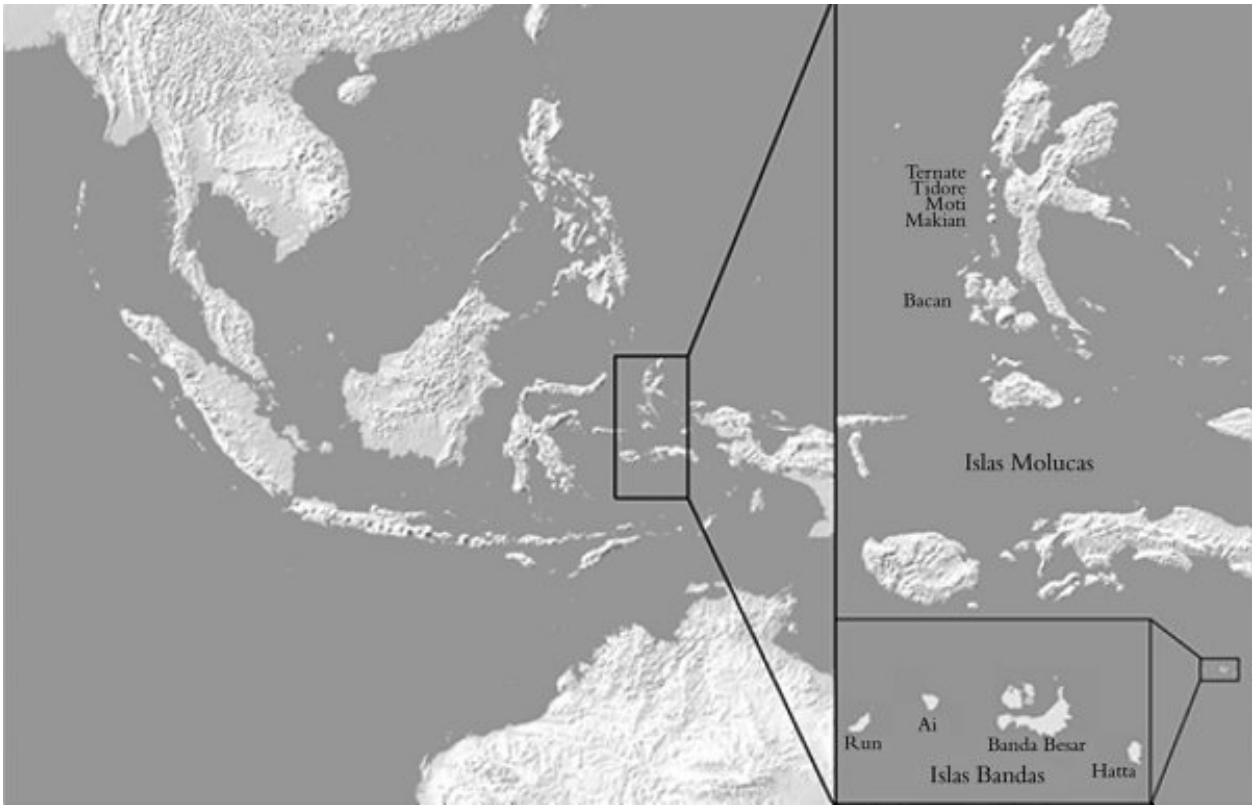


FIGURA 13. Los archipiélagos del Sudeste Asiático y el pequeño tamaño de las islas de las Especias de las Molucas y las Bandas.

Otras especias, sin embargo, estaban muy limitadas a su hábitat nativo. El clavo crecía al principio en los suelos volcánicos de solo un puñado de pequeñas islas situadas en el norte del archipiélago de las Molucas: Bacan, Makian, Moti, Tidore y Ternate.[36] Y el árbol de la nuez moscada, el moscadero, aparecía solo en nueve islas minúsculas (las Banda) ubicadas más al sur de las Molucas.[37] Estas raras especias llegaron a alcanzar precios muy elevados, sobre todo en la

época en que los mercaderes las transportaban a Occidente, directamente al Mediterráneo; la importancia comercial de estas islas volcánicas diminutas era más que desproporcionada en relación con su tamaño.(28)

La red comercial marítima del Sudeste Asiático era mucho mayor que la del Mediterráneo, un charco en comparación. Unas rutas procedentes del océano Índico penetraban en el angosto estrecho de Malaca, otras se extendían desde el mar del Sur de China y también desde las islas de las Especias de las Molucas en el este, y todas convergían en puertos comerciales de la península Malaya o de las islas de Java y Sumatra.[38] Hacia el año 1400 d. C. el puerto de Malaca, al principio una pequeña aldea de pescadores emplazada en el sudeste de la península Malaya, había crecido hasta convertirse en uno de los mayores centros de comercio marítimo del mundo.[39] Se hallaba situado estratégicamente, hacia más o menos la mitad del estrecho de Malaca, de unos ochocientos kilómetros, entre la península Malaya y la larga isla de Sumatra, en un punto en el que el estrecho en forma de embudo se contrae hasta tener solo sesenta kilómetros de ancho. El estrecho de Malaca fue una de las vías navegables más importantes del hemisferio oriental, pues constituía el paso marítimo crucial entre el océano Índico y el mar del Sur de China.[40] Los abarrotados mercados del puerto bullían con una enorme variedad de mercancías: lana y vidrio procedentes de Venecia, opio e incienso de Arabia, porcelana y sedas de China y, desde luego, las especias procedentes de las Banda y las Molucas.[41] Malaca era uno de los lugares más cosmopolitas de la Tierra en esa época: su puerto era un bosque de mástiles en el que los *dhows* del océano Índico se hallaban amarrados junto a los juncos de China y las islas de las Especias, y su población, más numerosa que la de Lisboa, hablaba docenas de idiomas diferentes que podían oírse por encima del bullicio de los mercados.[42] La riqueza de todo este comercio de especias fue lo que atrajo por encima de todo a los navegantes europeos que intentaban encontrar nuevas rutas marítimas hacia Oriente a finales del siglo XV.(29)

Y, cuando llegaron allí, se esforzaron por dominar esta creciente red

comercial del Sudeste Asiático mediante la toma de puntos clave de la geografía de los mares: cuellos de botella marítimos. Sin embargo, para ilustrar la importancia histórica de estos puntos consideraremos primero la Antigua Grecia.

Cuellos de botella

Como hemos visto antes, el paisaje irregular de Grecia da lugar a una costa con muchas ensenadas, bahías y canales para puertos naturales, y por ello impulsó un vigoroso comercio marítimo. De hecho, se cree que esta geografía montañosa tuvo influencia a la hora de mantener a las ciudades Estado de la Antigua Grecia como entidades autónomas. Montañas de laderas empinadas que llegaban hasta la línea costera separaban físicamente a unas ciudades de otras, e impedían que cualquiera de los estados consiguiera un dominio completo para edificar un imperio. El resultado fue un mundo de muchas ciudades Estado independientes que compartían una cultura y un idioma comunes y que competían entre sí, siguiendo una pauta de lealtades y conflictos que cambiaba continuamente.[44] (30) Pero, al mismo tiempo, la escasez de llanuras costeras limitaba el área disponible para una agricultura productiva. A diferencia de Mesopotamia o Egipto, Grecia no está bendecida con llanuras aluviales de suelo profundo y rico, y aunque tierra adentro existen valles fértiles, no son muy numerosos. El terreno montañoso de Grecia solo ofrece por lo general suelos delgados y ligeros, que en su mayor parte son secos debido a una pluviosidad escasa y poco regular, y existen demasiado pocos ríos grandes que hagan posible una irrigación generalizada. De hecho, excepto por el Ródano en el extremo occidental de los Alpes, los principales ríos de Europa ven bloqueado su flujo hacia el Mediterráneo por las cordilleras que levantó la colisión continental.

Estos factores ambientales combinados han hecho que, históricamente, la península griega se haya esforzado por cultivar los cereales adecuados para alimentar a su población, y muchas de sus ciudades Estado vivían con la

amenaza constante de carestías alimentarias y la hambruna. Sin embargo, el clima griego es muy adecuado para la producción de aceite de oliva y de vino, así como para criar rebaños de cabras y ovejas; todos estos productos pueden trocarse por trigo y cebada cultivados en el extranjero.[46]

Aproximadamente en la misma época en que las ciudades Estado griegas desarrollaban las primeras democracias del mundo, a principios del primer milenio a. C., sus poblaciones empezaron a rebasar la reserva de alimentos que proporcionaba el ambiente circundante. Así, los griegos se fijaron en otras tierras del entorno mediterráneo para que les suministraran los cereales que necesitaban para alimentarse. Esparta, Corinto, Mégara y sus aliados enviaron sus barcos al oeste para que retornaran con grano. Sicilia fue colonizada para cosecharlos beneficios de los ricos suelos volcánicos alrededor del monte Etna.(31) Un segundo conjunto de ciudades Estado griegas aliadas que rodeaban el mar Egeo, entre ellas la floreciente ciudad de Atenas, establecieron colonias en los valles fabulosamente fértiles de los ríos Dniéper y Bug, a lo largo de las costas septentrionales del mar Negro, la extensión más occidental de las praderas esteparias euroasiáticas (volveremos a esta región en el capítulo 7).[47] Para llegar hasta allí, los barcos griegos tenían que navegar por dos estrechos muy angostos, entre los mares Egeo y Negro: primero tenían que salvar el Helesponto, o «puente de los griegos» (que ahora se llama Dardanelos), para llegar al pequeño mar de Mármara, y después el Bósforo, todavía más estrecho, hasta el mar Negro.(32)

A medida que en Grecia aumentaba la población, alimentada con cereales importados de sus graneros de ultramar, la rivalidad entre las dos alianzas de ciudades Estado, dirigidas por Atenas en un bando y Esparta en el otro, resultó cada vez más difícil de controlar. Finalmente, en el año 431 a. C. estalló la devastadora guerra del Peloponeso. Duró casi treinta años, durante los cuales ambos bandos intentaron obtener el control de los mares, pero finalmente fue la dependencia de Atenas de los cereales importados a lo largo de las rutas marítimas procedentes del mar Negro lo que se reveló como su mayor debilidad.

Los espartanos se dieron cuenta de que no necesitaban atacar directamente a Atenas, sino tan solo cortar su cordón umbilical. Reunieron sus fuerzas navales en el año 405 a. C. y esperaron a atacar hasta mediados de verano, cuando el mayor número de barcos atenienses se preparaban para emprender el viaje de regreso desde el mar Negro, llevando consigo su precioso cargamento antes de que llegara el otoño y cerrara la ruta marítima con mares tempestuosos y cielos encapotados.(33) Abalanzándose sobre la armada ateniense en la batalla de Egospótamos, en el angosto estrecho del Helesponto, los espartanos la destruyeron por completo; más de 150 barcos fueron hundidos o capturados. Tras obtener el control de este vital cuello de botella de la ruta marítima desde el mar Negro, los espartanos ni siquiera intentaron un asalto final a Atenas; sabían que la fría lanza del hambre sería mucho más eficaz y devastadora que las lanzas que enarbolaba su ejército de hoplitas. Atenas no tuvo otra opción que pedir la paz bajo condiciones humillantes, pues perdió el resto de su flota y sus territorios de ultramar.

La guerra del Peloponeso es una buena ilustración de la importancia fundamental de la geografía de los mares y de la vulnerabilidad de las rutas marítimas vitales en estrechos angostos. Dominar estos cuellos de botella navales, y con ello el acceso de un rival a recursos ultramarinos, suele ser tan importante como controlar territorios en tierra, y puede determinar el resultado de guerras y el destino de civilizaciones. Junto con los cuellos de botella de los Dardanelos y el Bósforo, el estrecho de Gibraltar (la delgada lengua de mar entre la península Ibérica y la costa de Tánger) ha desempeñado un papel importante en el control del tráfico naval entre el Mediterráneo y el Atlántico, y constituyó el escenario de la batalla de Trafalgar en 1805, entre la Royal Navy y las flotas combinadas de Francia y España.

Otros estrechos de todo el globo han resultado ser igualmente básicos para la historia mundial. Cuando los marinos europeos alcanzaron el océano Índico a partir de principios del siglo XV (primero los portugueses y después los

españoles, holandeses y británicos), intentaron dominar una serie de cuellos de botella para ejercer control sobre una región entera de la superficie oceánica de la Tierra.

Tal como hemos visto anteriormente, el comercio entre Egipto y Oriente Próximo e India ha seguido durante milenios dos grandes rutas marítimas: la travesía del mar Rojo y la que recorre el golfo Pérsico. Ambas están conectadas al océano Índico abierto mediante los angostos estrechos de Bab-el-Mandeb y Ormuz. Y, desde India, la ruta comercial a los principales puertos de abastecimiento de las islas de las Indias Orientales atravesaba el estrecho de Malaca. Para los mercaderes que habían navegado bordeando el Sudeste Asiático durante siglos, los mares eran un bien comunal sin restricciones, una enorme región de comercio libre para todos. En los puertos se cobraban impuestos y los piratas eran una preocupación constante, pero no había armadas que hostigaran a los buques extranjeros en mar abierto. Los europeos tenían no obstante una mentalidad muy diferente, resultado de su herencia de guerras navales en todo el Mediterráneo y el Atlántico Norte. Estas potencias coloniales estaban decididas a dominar las redes comerciales con el fin de establecer un monopolio propio. Para conseguirlo, construyeron fortalezas con las que proteger los puertos clave y patrullaron las aguas con sus buques de guerra para eliminar agresivamente a los competidores. Asimismo —algo aún más importante—, intentaron capturar los cuellos de botella navales de Bab-el-Mandeb, Ormuz y Malaca para cerrar las rutas marítimas a todas las embarcaciones excepto las propias, y controlaron el comercio a través de todo el océano Índico al dominar tan solo unas pocas localidades críticas de la geografía de los mares.(34)

En la actualidad, los cuellos de botella navales son igualmente cruciales desde el punto de vista estratégico. Ya no es el comercio de las especias lo que les confiere una enorme importancia geopolítica, sino el transporte de otro producto de trascendencia mundial. El petróleo supone hoy en día casi la mitad de todo el tonelaje que se mueve por vía marítima en todo el planeta,[49] y su flujo

continuo y sin restricciones es fundamental para la economía global actual.

Arterias negras

El petróleo no es solo el combustible de nuestro mundo moderno, sino que también lubrica las máquinas, asfalta nuestras carreteras, proporciona plástico y productos farmacéuticos, y se usa en la producción de fertilizantes artificiales, plaguicidas y herbicidas que ayudan a cultivar el alimento que necesitamos. Aproximadamente la mitad del suministro de petróleo es transportado por buques petroleros que se desplazan a lo largo de la red mundial de rutas marítimas,[50] y que por lo tanto atraviesan estrechos naturales. Como hemos visto, los estrechos de los Dardanelos (o Helesponto) y el Bósforo han sido fundamentales desde el punto de vista estratégico desde la época de la guerra del Peloponeso. Los cereales de Ucrania son exportados todavía a través del mar Negro, pero hoy en día alrededor de 2,5 millones de barriles de petróleo son transportados por buques petroleros que cruzan este par de estrechos turcos para suministrar a Europa occidental y meridional combustibles fósiles procedentes de Rusia y de la región del mar Caspio. El Bósforo, de menos de un kilómetro de ancho, es el estrecho más angosto del mundo por el que navegan grandes buques.[51]

También hemos construido cuellos de botella artificiales, los canales que conectan mares para crear rutas marítimas más directas, como el de Panamá y el de Suez. Cuando la crisis de Suez cerró el canal durante seis meses en 1956 y obligó al transporte marítimo a retomar la ruta que bordea el África austral, el resultado fue una carestía de combustibles en toda Europa.[52] Pero, con mucho, el estrecho más crítico desde el punto de vista estratégico en esta época dominada por el petróleo es el de Ormuz.[53]

Veremos en el capítulo 9 cómo se creó el petróleo en nuestro planeta y por qué puede encontrarse tanto en Oriente Próximo. El golfo Pérsico produce

alrededor de un tercio del suministro mundial de este líquido,[54] y Kuwait, Irak, Baréin, Qatar y los Emiratos Árabes Unidos han de hacer pasar sus exportaciones de petróleo por el estrecho de Ormuz; solo Arabia Saudí e Irán pueden usar conexiones marítimas alternativas hasta las rutas de navegación oceánicas. De resultas de ello, el estrecho experimenta un ajetreo frenético con el tráfico de petroleros, que transportan diariamente 19 millones de barriles, la quinta parte del suministro mundial.[55] Sin embargo, ello también significa que esta arteria, que transporta la sangre negra que hace funcionar el mundo, es extraordinariamente vulnerable cuando dicho fluido cruza los estrechos. Se ha calculado que, en los más de cuarenta años transcurridos desde el embargo árabe de petróleo de 1973, Estados Unidos ha invertido más de 7 billones de dólares en su presencia militar en el Golfo para asegurar el flujo continuo de petróleo para los mercados globales.[56] Aunque la piratería y los ataques terroristas son preocupantes, el mayor temor es que las relaciones internacionales con un Estado como Irán pudieran deteriorarse hasta tal punto que cerrara de golpe este cuello de botella vital y asfixiase el suministro mundial de petróleo.[57]

Alrededor del 10 por ciento del petróleo producido en el golfo Pérsico es transportado hasta Estados Unidos tras bordear el cabo de Buena Esperanza, con una proporción menor dirigida a través de Bab-el-Mandeb por el mar Rojo y a través del canal de Suez hasta el Mediterráneo. Pero la parte del león viaja por la ruta marítima, de miles de años de antigüedad, que rodea India hasta Asia oriental, atravesando el angosto cuello de botella del estrecho de Malaca. Alrededor de la cuarta parte del petróleo transportado por mar (aproximadamente 16 millones de barriles al día) atraviesa este estrecho en petroleros, y después prosigue la travesía para alimentar las economías de China y Japón, así como las de Corea del Sur, Indonesia y Australia.[58]

Aunque la naturaleza de las principales mercancías haya cambiado a lo largo de la historia (primero los cereales, después las especias y luego el petróleo), el papel que desempeñan la geografía de los mares y la importancia estratégica de los cuellos de botella navales sigue siendo crítico. Antes de la aparición de los

ferrocarriles, los automóviles y los viajes en avión, fueron los mares los que facilitaron el comercio a grandes distancias. Incluso en la actualidad, el 90 por ciento del comercio mundial se realiza por vía marítima.

Pero el papel de los océanos consiste en algo más que en proporcionar rutas marítimas para el comercio a larga distancia y los cuellos de botella que definen buena parte del paisaje geopolítico actual. Veamos ahora cómo la geografía de los mares puede determinar también la economía y la política de una nación.

Cinturón Negro

Cuando las colonias norteamericanas declararon su independencia del Gobierno británico en 1776 y libraron y ganaron la guerra que estalló a continuación, su población se concentraba casi por entero en la costa Este. A lo largo de las décadas siguientes, Estados Unidos experimentó una expansión prodigiosa, al animar a colonos a que se dirigieran al oeste y al adquirir enormes extensiones de territorio en una serie de compras y anexiones. Al cabo de un siglo de su nacimiento como nación, Estados Unidos había cuadriplicado su tamaño y se había extendido de un mar brillante a otro a lo largo de todo el continente.(35) Los Estados Unidos de América se habían convertido *de facto* en una nación insular, protegida a este y oeste por los océanos Atlántico y Pacífico, al tiempo que tenía acceso al comercio marítimo con Europa a un lado y con Asia al otro. Estados Unidos pudo alcanzar el éxito económico y abogar por los ideales de la libertad precisamente gracias a esta seguridad ante las amenazas externas, nacida de sus circunstancias geográficas. Mientras las naciones europeas continuaban achuchándose unas a otras en un continente atestado de gente, la seguridad territorial de Estados Unidos engendró una actitud aislacionista en materia de política exterior durante casi dos siglos.(36)

Pero existe otra manera por la que el mar ha dejado su impronta en la política estadounidense, con raíces que se remontan mucho más atrás en la historia de

nuestro planeta.

En las elecciones de noviembre de 2016 el candidato republicano, Donald Trump, derrotó a su rival demócrata, Hillary Clinton, para convertirse en el cuadragésimo quinto presidente de Estados Unidos. Un mapa de los resultados muestra en azul los estados que votaron a los demócratas, en el nordeste y en la costa Oeste, junto con Colorado, Nuevo México, Minnesota e Illinois, mientras que grandes zonas del centro del país están coloreadas con el rojo de los republicanos. Los estados del sudeste también votaron en general a estos últimos, incluida Florida, que en esta ocasión se inclinó por ellos. Pero si nos fijamos en un mapa de mayor resolución del comportamiento electoral, que muestra los diferentes condados, veremos que revela algo muy curioso.

Hay una línea azul muy evidente de condados que votaron claramente por los demócratas, que recorre la amplia extensión de rojo del sudeste, que luego se curva a través de Carolina del Norte y Carolina del Sur, Georgia y Alabama, y que después sigue las orillas del río Mississippi. Esta franja azul no es solo un capricho de las elecciones presidenciales más recientes; también es visible en las de 2008 y 2012, que ganaron los demócratas con Barack Obama, así como en los mandatos anteriores de George W. Bush. De hecho, esta característica electoral se remonta hasta la época de la reconstrucción de Estados Unidos después de la guerra civil. ¿Cuál podría ser la causa subyacente de esta pauta en los estados del sudeste que ha durado tanto tiempo en algo tan cambiante y fluido como la política presidencial y las elecciones a lo largo de la historia?

Lo sorprendente es que esta franja claramente definida de zonas de voto demócrata es el resultado de un océano antiguo, de decenas de millones de años de antigüedad.

Al observar un mapa geológico de Estados Unidos, se advierte que la pauta de condados azules recorre una franja de rocas superficiales que se depositaron durante el periodo Cretácico tardío en la historia de la Tierra, hace entre 86 y 66 millones de años. Esta banda relativamente estrecha de rocas cretácicas expuestas se curva alrededor de otras más antiguas situadas más hacia el interior

y más al norte, que incluyen el relieve elevado de los montes Apalaches, y desaparece bajo tierra en el sur, donde se le superponen depósitos de rocas más recientes.

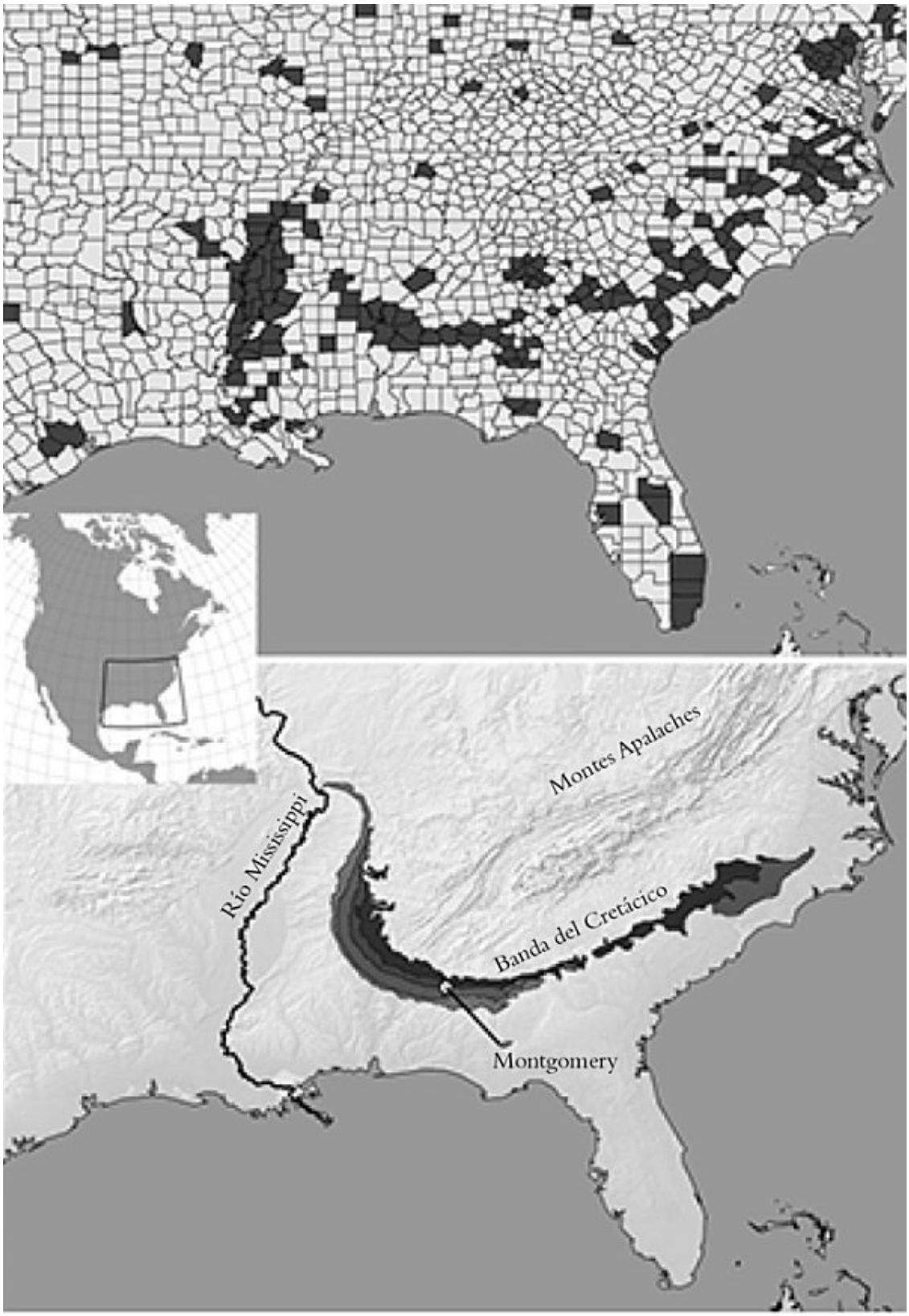


FIGURA 14. El patrón de los condados que votan a los demócratas (señalados en color oscuro) en el mar de aquellos que votan a los republicanos en el sudeste de Estados Unidos (*arriba*) sigue el curso del río

Mississippi y el arco de rocas del Cretácico de 75 millones de años de antigüedad (*abajo*).

Durante el periodo Cretácico, cuando el clima era cálido y los niveles del mar eran mucho más elevados que hoy en día, gran parte de lo que en la actualidad es Estados Unidos se hallaba bajo las aguas. El llamado mar Interior Occidental llegaba directamente hasta la zona central del país, y lamía la base de los montes Apalaches a lo largo del lado oriental del continente. El material erosionado de los Apalaches y transportado por los ríos a este mar somero se depositó como arcillas en el fondo marino, que, con el paso del tiempo, se transformó en una capa de esquistos. Cuando el nivel del mar descendió de nuevo, apareció el perfil de Estados Unidos que reconocemos en la actualidad, y la erosión volvió a exponer una franja de estos sedimentos del fondo marino en la llanura costera. Los suelos derivados de esta banda de roca madre constituida por esquistos son oscuros y ricos en los nutrientes erosionados originalmente de las montañas. El término «Cinturón Negro» se refería en un principio a esta franja de suelos de color distintivo y productivos desde el punto de vista agrícola que se extiende por Alabama y Mississippi.

Estos suelos oscuros y ricos derivados de los esquistos cretácicos eran perfectos para la agricultura, en especial para el cultivo del algodón. Con el arranque de la Revolución industrial y la aceleración del procesamiento del algodón para confeccionar ropa (fruto de la mecanización, que separaba rápidamente las fibras de algodón de sus semillas, las hilaba y después entrelazaba los hilos hasta transformarlos en tejidos), la demanda de esta planta se disparó, convirtiéndolo en un cultivo comercial. Pero las plantaciones del algodón requerían mucha mano de obra. A diferencia del cultivo de cereales, en que el grano puede hacerse caer simplemente de la planta mediante una aventadora, el del algodón requería en sus albores diestros dedos humanos para arrancar una a una cada baga algodonosa del arbusto. Y, desde finales del siglo XVIII, en los estados del Sur estos dedos los proporcionaban los esclavos.

Hacia 1830, la esclavitud se había establecido sólidamente en Carolina del Sur

y a lo largo del Mississippi, y hacia 1860 se había extendido hacia la costa del Golfo de Alabama y por toda Georgia. En el apogeo de las plantaciones de algodón atendidas por esclavos, el término «Cinturón Negro» había adquirido un significado diferente, pues definía a las poblaciones que se encontraban en el Sur Profundo: una densa concentración de afroamericanos a lo largo de las orillas del Mississippi y alrededor de la curva que formaba la franja de roca cretácica enterrada bajo los suelos.[59]

Incluso después de que la Confederación perdiera la guerra civil en 1865 y se aboliera la esclavitud en los estados del Sur, no hubo un cambio demográfico repentino ni, de hecho, en la base económica de esta región. Los antiguos esclavos continuaron trabajando en las mismas plantaciones de algodón, pero ahora de medieros, como hombres libres. Sin embargo, las fortunas económicas del Sur Profundo empezaron a desplomarse cuando cayeron los precios del algodón y después las áreas algodoneras quedaron infestadas por el gorgojo del algodón en la década de 1920. Varios millones de afroamericanos emigraron desde las zonas rurales de los estados del Sur hasta las principales ciudades industriales del nordeste y del Medio Oeste, sobre todo después de la Gran Depresión de la década de 1930. Aun así, la mayor parte de ellos permanecieron en las regiones en las que habían sido la población predominante desde el principio, el histórico «Cinturón Negro» de suelos fértiles.

Tras la Segunda Guerra Mundial, el «Cinturón Negro» constituyó por ello el núcleo del movimiento por los derechos civiles. En diciembre de 1955, Rosa Parks se negó a ceder su asiento en el autobús a un viajero blanco en la ciudad de Montgomery, Alabama, justo en medio de esta franja curva de rocas del Cretácico de 75 millones de años de antigüedad. Incluso hoy en día, prácticamente todos los condados de Estados Unidos con la mayor proporción de afroamericanos se hallan en el mismo arco sudoriental.[60] Estas poblaciones, que siguen ahí después de que muchos afroamericanos emigraran al norte y al

oeste, son como un resto erosivo que permanece en su lugar tras la marea económica que se llevó a millones de ellos a otros lugares.

Sin un desarrollo importante de la industria o el turismo, esta región antaño productiva ha sufrido desde hace tiempo problemas socioeconómicos: una elevada tasa de desempleo y pobreza, niveles bajos de educación y escasa atención sanitaria. Por ello, allí el electorado ha tendido tradicionalmente a votar por las políticas y las promesas del Partido Demócrata, lo que ha dado lugar a la curvada banda azul que aparece en los mapas de las elecciones presidenciales. Existe una clara cadena causal que nos lleva desde la política y las condiciones socioeconómicas actuales hasta sus raíces en los sistemas agrícolas históricos y después mucho más atrás, hasta el tapiz geológico que tenemos bajo los pies. La expuesta franja de fango del antiguo fondo marino está todavía impresa en el mapa político estadounidense.

5

Con qué construimos

¿Quién construyó las pirámides?

La respuesta inmediata del lector bien pudiera ser que fueron los faraones del Antiguo Egipto. Y estaría en lo cierto, desde luego. Fueron los todopoderosos reyes-dioses del fértil valle del Nilo los que, hace más de 4.500 años, fueron capaces de reunir y dirigir la mano de obra necesaria para extraer, transportar y ensamblar los gigantescos bloques de piedra en las colosales pirámides que se levantan sobre la meseta de Guiza. La mayor de ellas es la Gran Pirámide, construida durante el reinado del faraón Jufu (o Keops, como también se le conoce) y completada hacia el año 2560 a. C. Hasta la terminación de la catedral de Colonia en 1880, fue la estructura construida por el hombre más alta del mundo.[1]

El volumen principal de la Gran Pirámide está compuesto de unos 2,5 millones de bloques de caliza, cada uno de los cuales pesa por término medio 2,5 toneladas, dispuestos unos encima de los otros en 210 capas. Estos fueron extraídos de un yacimiento de caliza cercano, arrastrados sobre trineos hasta el lugar de la construcción y después acarreados hasta la parte superior de la pirámide, que iba creciendo, sobre rampas de tierra. Esta construcción puntiaguda fue cubierta entonces con un revestimiento externo de piedras, utilizando una caliza de mucha mayor calidad extraída de más lejos, al otro lado del río Nilo, que fueron encajadas y bien ajustadas y luego pulidas con esmero. Originalmente, la Gran Pirámide debía de relucir de manera espectacular al sol, pero la mayor parte de las piedras del revestimiento fueron retiradas con

posterioridad. Los grandes bloques de granito utilizados para revestir las cámaras del interior, algunos de los cuales pesan hasta 80 toneladas, fueron traídos de mucho más lejos, de Asuán, a unos 700 kilómetros río arriba.

Se cree que la construcción de la Gran Pirámide duró varios decenios y necesitó una fuerza laboral de decenas de miles de obreros cualificados, a los que se pagaba con pan y cerveza. Trabajaban sin herramientas de hierro, poleas ni ruedas, y usaban en cambio cinceles, taladros y sierras de cobre. Pero, aunque la magnitud de la Gran Pirámide es sin duda alguna abrumadora y el esfuerzo humano invertido en su edificación fue realmente colosal, lo que quizá sea igual de sorprendente es la naturaleza de los materiales de construcción. Resulta que los crearon algunos de los organismos más sencillos del planeta.[2]

Roca biológica

Si podemos acercarnos a los enormes bloques que constituyen el núcleo de la Gran Pirámide (ahora al descubierto por la extracción de las piedras del revestimiento externo) y observamos atentamente su superficie, advertiremos una textura curiosa. Los bloques de caliza están constituidos por muchísimos discos parecidos a monedas. Si buscamos algunos que estén rotos, podremos tener la suerte de ver su estructura interna: una espiral extraordinariamente intrincada, subdividida en pequeñas cámaras. Estaremos viendo fósiles de unos organismos marinos llamados «foraminíferos». Y lo que es más impresionante, dado que cada caparazón puede tener algunos centímetros de diámetro, es que el organismo que lo creó es unicelular. La mayor célula humana, un óvulo femenino, tiene alrededor de una décima de milímetro de diámetro, y apenas es visible a simple vista. Los organismos marinos que crearon la caliza de las pirámides son, en comparación, absolutamente colosales. Pertenecen a un tipo de foraminífero gigante llamado *Nummulites* (que significa «pequeñas monedas» en latín).

Hay yacimientos de caliza numulítica no solo en las cercanías del Nilo, donde ofrecieron material de obra para los antiguos constructores de pirámides, sino a lo largo de una enorme zona que va desde el norte de Europa hasta África del Norte y desde Oriente Próximo hasta el Sudeste Asiático. Esa extensa región de caliza nummulítica fue depositada en los márgenes cálidos y someros del mar de Tetis, hace 40-50 millones de años. En este periodo del Eoceno temprano, las temperaturas del planeta fueron altas durante más tiempo que el máximo de temperatura extrema del MTPE que hemos visto en el capítulo 3, aunque no fueron tan elevadas. Los niveles del mar altos hicieron que el océano de Tetis se desbordara en grandes extensiones que iban desde la Europa septentrional hasta el norte de África. En estas aguas cálidas vivían foraminíferos en grandes cantidades, y, cuando morían, enormes montones de sus caparazones en forma de moneda, compuestos por carbonato cálcico, se hundían y tapizaban el fondo del mar. Con el paso del tiempo, se cementaron para crear la caliza nummulítica.

Estas formaciones de caliza particulares han quedado al descubierto en muchos lugares diferentes. Allí donde los distintivos fósiles con aspecto de moneda han sido erosionados de la roca madre en África del Norte y se han esparcido entre las arenas del desierto, los beduinos los conocen como «dólares del desierto».[3] Y en la península de Crimea, afloramientos peñascosos de esta caliza nummulítica forman las mandíbulas del «valle de la muerte» que fue testigo de la desastrosa carga de la Brigada Ligera durante la batalla de Balaclava en 1854, tal como conmemoraba el poema de Alfred (lord) Tennyson. [4]

Así pues, los enormes bloques de roca que configuran la Gran Pirámide de Guiza fueron extraídos de lo que es esencialmente una losa gigante de caliza que se extiende por Eurasia y África. Compuesta de innumerables caparazones de foraminíferos, esta caliza nummulítica es una roca biológica. De modo que, aunque los faraones egipcios ordenaran su construcción a partir de enormes bloques de caliza, fueron otros seres vivos los que construyeron las pirámides. Las tumbas de los faraones están hechas de una miríada de deposiciones de los

restos esqueléticos de un gigantesco organismo unicelular marino.[5]

Las pirámides son uno de los símbolos más perdurables de la civilización humana, y revelan lo que podemos construir cuando ponemos en ello nuestra mente y nuestros esfuerzos conjuntos. A lo largo de la historia, muchos de los edificios más majestuosos han sido construidos a raíz de la devoción por lo divino: las pirámides escalonadas de Mesoamérica, los complejos de templos de Sanchi Stupa y Angkor Wat, o las catedrales medievales de toda Europa. Pero los materiales con los que se hicieron estos monumentos son los mismos que los usados para edificios construidos para fines más pragmáticos: viviendas, edificios civiles, puentes, puertos, fortificaciones. En todo este fervor constructivo subyace una necesidad humana fundamental: encontrar refugio frente a los elementos. Y a lo largo de la historia hemos recurrido a los materiales naturales que encontramos a nuestro alrededor.

Madera y arcilla

Muchas culturas de todo el mundo, en especial los pueblos nómadas, han construido estructuras temporales como los wigwams, los tipis y las yurtas con ramas, cortezas, juncos o pieles de animales. La madera, desde luego, es uno de los materiales de construcción más antiguos. Son muchos los árboles diferentes que pueden usarse para obtener travesaños, postes y tablones, así como listones de revestimiento o tejas para el techo. Y, antes de que el metal fuera ampliamente accesible, la madera se utilizaba también para los componentes mecánicos.(37) Las fibras cruzadas del olmo lo hacen resistente y poco quebradizo, por lo que es perfecto para el cubo de las ruedas de los carros. El nogal americano o pacana es particularmente duro, de modo que se usaba para los dientes de engranajes en los sistemas que impulsaban las ruedas hidráulicas y los molinos de viento. Y los pinos y abetos crecen rectos y hasta alturas excepcionales, por lo que son adecuados para los mástiles de barcos.

El material más sencillo para modelarlo en paredes sólidas es la arcilla. Los primeros habitantes de las ciudades de Mesopotamia, el país entre ríos, vivían en un mundo de fango. Aunque era un ambiente perfecto para la agricultura productiva, la región carece desafortunadamente de recursos naturales como madera, piedra y metales, todos los cuales tenían que importarse. Toda una sucesión de antiguas civilizaciones de Mesopotamia (sumerios, acadios, asirios y babilonios) sobrevivieron trocando sus excedentes alimentarios por madera de cedro del Líbano, mármol y granito de Persia y Anatolia, y metales del Sinaí y Omán.[6] No obstante, la mayoría de las estructuras las construían a partir de lo que tenían a mano en la zona. Las casas y los palacios, así como los muros de las ciudades y los fuertes, estaban todos ellos construidos con ladrillos de adobe. Incluso el centro de sus grandes zigurats (las pirámides escalonadas y de cima plana que servían de templos) estaba hecho de ladrillos cocidos al sol. Los más duraderos, cocidos en hornos, se usaban únicamente para el revestimiento de palacios y zigurats, y estaban decorados con vidriados coloridos. El fango se convirtió incluso en un material para escribir cuando los sumerios inventaron la escritura al presionar un estilete sobre tabletas de arcilla blanda.[7]

En realidad, mucho antes de proporcionar a los antiguos mesopotámicos ladrillos de tierra y tabletas blandas para las formas más antiguas de escritura, la arcilla ya había resultado transformadora para la existencia humana. La innovación de cocerla en vasijas de cerámica nos ofreció capacidades totalmente nuevas. La alfarería proporcionaba recipientes en los que se podía cocinar comida, hirviéndola o friéndola. Cocinar no solo desactiva determinados venenos vegetales que están presentes en la patata y la mandioca, por ejemplo —de este modo hace que dispongamos de más productos alimenticios—, sino que también descompone moléculas complejas para liberar más nutrientes que nuestro cuerpo puede absorber. En resumen, la alfarería permitió un mayor procesamiento de los alimentos, que los volvían más digeribles para nosotros. Los contenedores con tapa modelados a partir de arcilla también permitían que los almacenes de alimentos estuvieran protegidos de las plagas y las alimañas, al

tiempo que los hacían mucho más portables para viajar y comerciar. Puede conseguirse que la loza sea más impermeable y más atractiva vidriándola (revistiéndola de una solución de determinados materiales pulverizados antes de cocerla al horno), y esto bien pudiera ser lo que hizo que la humanidad diera con el proceso de fundir metales como el plomo o el cobre.

La arcilla cocida resultó ser fundamental para nuestro desarrollo a lo largo de la historia no solo porque es dura e impermeable, sino también porque puede ser muy resistente al calor. Los ladrillos cocidos son ideales para revestir hornos: aíslan del calor interior sin resultar afectados, con lo que permiten que se alcancen temperaturas muy elevadas. Así, la cerámica permitió a la humanidad dominar realmente el fuego, para mantener a raya el frío nocturno o para cocinar, así como también para tomar materiales en bruto del entorno y transformarlos en algunas de las sustancias más útiles de la historia: fundir metales a partir de sus menas, calcinar caliza para crear argamasa o producir vidrio.

Los mesopotámicos construían con barro secado por falta de materiales más duros y duraderos. Pero en otras partes de todo el mundo hemos utilizado la geología que había bajo nuestros pies. No solo construimos nuestras ciudades dentro del paisaje (al borde de la costa, en un valle fluvial fértil o cerca de colinas con recursos minerales), sino que también las hacemos de él. En este capítulo veremos cómo la Tierra nos hizo, pero también cómo nos proporcionó los materiales sólidos que hemos utilizado para la construcción. El de la civilización es el relato de la humanidad excavando el entramado del planeta que hay bajo nuestros pies y amontonándolo para construir nuestras ciudades.

En la Tierra existen tres tipos fundamentales de rocas, y a lo largo de la historia hemos construido utilizando los tres. Las sedimentarias se forman por la deposición y posterior cementación de material que, o bien se erosionó de rocas más antiguas, o bien fue producido biológicamente; la arenisca, la caliza y la creta son ejemplos de ellas. Las rocas ígneas como el granito, en cambio, se solidifican a partir de lava volcánica o magma situado todavía a gran

profundidad. Y cuando las rocas sedimentarias o ígneas se ven sometidas a temperaturas y presiones elevadas (atrapadas en el crujido de las colisiones continentales o cuando el magma se introduce en ellas) se transforman física y químicamente, y se convierten en rocas metamórficas como el mármol o el esquisto.

La de los antiguos egipcios fue la primera civilización que extrajo piedra natural y construyó a gran escala con ella, e hizo uso de una gran variedad de rocas diferentes. La arenisca nubia estaba a disposición en los acantilados que flanquean el Nilo en el Alto Egipto. El gran templo de Ramsés II en Abu Simbel y el templo de Luxor en Tebas, por ejemplo, fueron tallados sirviéndose de esta piedra pardo amarillenta. Más al norte, el Nilo atraviesa la caliza nummulítica situada sobre la arenisca nubia más antigua, la cual, como hemos visto anteriormente, fue excavada para construir las pirámides de Guiza. En el desierto Oriental, la apertura del rift del mar Rojo expuso las antiguas rocas del subsuelo que forman los cimientos mismos de la corteza africana continental. El granito y el gneis (formado por la metamorfosis del granito) de la zona tienen más de 500 millones de años de antigüedad. Duras y duraderas, los egipcios apreciaban estas rocas para esculpir estatuas y obeliscos, y eran transportadas en barcazas Nilo abajo para exportarlas a todo el mundo mediterráneo.[8]

Veamos ahora algunas de las rocas más importantes que hemos utilizado a lo largo de la historia y cómo nuestro planeta las creó.

Caliza y mármol

Tal como hemos visto, las piedras nummulíticas empleadas para construir las pirámides son una forma de caliza. Pero se trata solo de uno de los muchos tipos de esta roca tan extendida. La de carbonato cálcico se forma también en la boca de manantiales termales volcánicos donde, cuando el agua se enfría, los minerales precipitan de la solución y forman rápidamente capas de caliza sobre

el terreno. Esta forma de caliza se conoce como «travertino». Las principales columnas y los muros externos del Coliseo de Roma, por ejemplo, fueron hechos a partir de travertino extraído de Tibur (el Tívoli actual, una ciudad a unos treinta kilómetros al nordeste de Roma), y caliza de fuentes termales del mismo lugar se utilizó para el Centro Getty de Los Ángeles.[9]

Sin embargo, la mayor parte de la caliza no se forma en puntos calientes volcánicos ubicados en tierra firme, como los manantiales minerales de Tívoli, sino en el fondo marino, como roca biológica. Gran parte de la caliza que se encuentra en toda Europa y en el resto del mundo se formó durante el periodo Jurásico, cuando mares cálidos y someros inundaron la tierra. Reptiles marinos, como los pliosauros y los ictiosauros, nadaban en estos mares tropicales,[10] mientras que en el fondo del mar el carbonato cálcico de las conchas y los caparazones de organismos marinos (como los foraminíferos) precipitaban como fango calcáreo. Cuando partículas de arena o fragmentos de conchas rodaban de un lado a otro por el lecho impulsados por las corrientes de marea, quedaban revestidos de capas concéntricas del mineral llamado calcita para formar diminutas bolitas denominadas «oolitos» (del griego para «piedra huevo»). Después, estas pequeñas esférulas se cementaron conjuntamente con más calcita para formar caliza oolítica.

En Gran Bretaña, la caliza oolítica formada durante el Jurásico ha reaparecido como una gran faja que atraviesa el país, desde East Yorkshire hasta la costa de Dorset, pasando por los Cotswolds (véase el mapa de la figura 15). Oxford se encuentra en medio de esta banda, y muchas de sus facultades universitarias fueron construidas a base de esta gloriosa piedra dorada.[11] En el mismo extremo sudoccidental de esta franja diagonal de caliza jurásica se encuentra la isla de Portland, un promontorio que se adentra en el canal de la Mancha, y cuyas duras rocas resisten el embate de las olas. La caliza expuesta allí se remonta al final mismo del periodo Jurásico, hace 150 millones de años.

La piedra de Portland es un material de construcción fabuloso, y no solo por su delicioso tono cremoso. Los oolitos que la produjeron se cementaron juntos

en la cantidad precisa; es lo bastante duradera para resistir el desgaste de los elementos y el desmenuzamiento, pero no es tan imprácticamente dura como para que los mamposteros no puedan cortarla y cincelarla. La de Portland es conocida como una piedra franca; su textura de grano fino puede cortarse pulcramente en cualquier dirección y ha sido usada como material de construcción desde la época de los romanos. Además, se convirtió en la roca elegida para muchos de los edificios monumentales o civiles de Gran Bretaña. Su tono puro aparece en la torre de Londres, la catedral de Exeter, el Museo Británico, el Banco de Inglaterra y la fachada de la cara oriental del Palacio de Buckingham (incluido el famoso balcón). Sir Christopher Wren la escogió para la reconstrucción de la catedral de San Pablo, así como para muchas otras iglesias de Londres, después del Gran Incendio de 1666. La piedra de Portland también ha sido usada en todo el mundo, por ejemplo, en el edificio de las Naciones Unidas en Nueva York.

Estados Unidos tiene sus propias fuentes de caliza. Algunas de las de mayor calidad se extraen en el sur de Indiana, donde se depositó mucho antes que la piedra de Portland, durante el periodo Carbonífero inicial, hace unos 340 millones de años. La caliza de Indiana se ha usado en la fachada del Empire State, en el Yankee Stadium de Nueva York, en la Catedral Nacional de Washington D. C. y en el Pentágono. Esta piedra fue empleada también ampliamente en la reconstrucción de Chicago después de su Gran Incendio de 1871, emulando la de los edificios monumentales de Londres tras su conflagración dos siglos antes.

Gran parte de la costa septentrional del Mediterráneo que hemos mencionado en el capítulo anterior está hecha también de rocas calizas que originalmente se depositaron en el fondo del mar de Tetis. Empujada ahora por encima del oleaje, la ha disuelto el agua de lluvia que gotea bajo tierra, un proceso que ha creado una extensa red de cuevas. Quizá no sea sorprendente que muchas de ellas hayan sido asociadas con el inframundo de la mitología clásica. Por ejemplo, en el extremo de la península de Mani, el punto más meridional de Grecia, se halla la

entrada de una cueva desde la que se dice que el legendario Orfeo descendió al inframundo para encontrar a su esposa muerta, Eurídice. La belleza de la música que él interpretó con su lira convenció al dios Hades, que le permitió devolver a Eurídice al mundo de los vivos con una condición: que no mirase hacia atrás. Pero en cuanto Orfeo hubo alcanzado el mundo superior se giró ansiosamente para comprobar que ella lo seguía, de modo que Eurídice desapareció para siempre.[12]

Allí donde esta caliza del Tetis ha sido cocida bajo tierra en los límites convergentes de las placas que circundan el Mediterráneo (por magma que asciende y que se introduce en ella, o por haber sido atrapada en la mordaza tectónica que tritura y hace ascender cordilleras como los Alpes) se ha metamorfoseado en mármol. Esta es la piedra distintiva de las esculturas, los monumentos y los grandes edificios públicos griegos y romanos clásicos. Uno de los mármoles más apreciados y caros del mundo se extrae todavía de los alrededores de la ciudad de Carrara, en el norte de la Toscana. Allí, los Alpes apuanos contienen montañas de la piedra de color blanco puro que ha servido como material de construcción desde los días de la Antigua Roma, cuando fue usado para el Panteón y la columna de Trajano, por ejemplo. El mármol de Carrara fue también el preferido por los escultores del Renacimiento; proporcionó el material para la que es probablemente la estatua más famosa del mundo, el *David*, de Miguel Ángel. También ha sido exportado a otros países para construir algunos de los monumentos históricos más icónicos del planeta: el Marble Arch de Londres, el Monumento de la Paz de Washington D. C., la catedral de Manila, la mezquita del jeque Zayed en Abu Dabi y el templo de Akshardham en Nueva Delhi.

Y no solo se exportaron a todo el globo los materiales de construcción físicos. Los característicos componentes arquitectónicos de la Antigüedad (desde las columnas hasta las cariátides, desde los frontones hasta las pilastras) fueron emulados en Europa durante siglos, desde el Renacimiento hasta el neoclásico de

mediados del siglo XVIII, pasando por el Barroco y estilos más recientes, y fueron adoptados con particular entusiasmo por los nacientes Estados Unidos de América. Tras conseguir la independencia de Gran Bretaña, esta nueva nación forjó su propio sistema de gobierno, una república federal, inspirándose en algunas de las estructuras políticas desarrolladas por la república más poderosa de la historia de Occidente, la de la Antigua Roma. Al mismo tiempo, la arquitectura de muchos de los principales edificios públicos y municipales de Estados Unidos emuló los estilos de la Antigüedad. No fueron construidos con la caliza y el mármol originados en el antiguo mar de Tetis, sino reproducidos con rocas extraídas en la joven nación norteamericana, siguiendo los mismos estilo y pureza de tono grandiosos.(38)

Creta y sílex

La creta es otra forma de caliza, aunque a primera vista sus propiedades no podrían ser más diferentes. Se pueden encontrar yacimientos de esta roca prácticamente en todos los continentes,[13] y son la característica distintiva del periodo Cretácico de la historia geológica de la Tierra. De hecho, el nombre que se ha dado a este capítulo del relato de nuestro planeta procede del de esta roca, derivado del latín *creta*.

Una gruesa capa de creta constituye la base de gran parte del sur de Inglaterra (véase la figura 15). Aparece en forma de afloramientos a lo largo del espinazo de la isla de Wight, continúa hacia el este como las crestas montañosas de los Downs del Norte y del Sur, y se sitúa debajo de Londres, donde forma un cuenco que contiene capas superpuestas de arcilla. Los terrenos cretáceos de la llanura de Salisbury son la sede de uno de los monumentos más impresionantes de la primitiva ocupación humana de la Europa septentrional, Stonehenge, iniciado hacia el 3000 a. C. Aunque los enormes bloques de *sarsen* que constituyen el anillo principal son de arenisca, parece que los constructores se sintieron atraídos

por esta zona a causa del sílex que podía extraerse del paisaje de creta para elaborar utensilios tales como cuchillos y puntas de flecha. Otros monumentos, construidos de manera menos ardua pero igualmente llamativos, fueron creados en esta banda geológica. La humanidad ha estado explorando el potencial artístico de este paisaje durante milenios, arrancando la delgada capa de césped situada sobre la porosa creta para sacar a la luz la roca de color blanco brillante, o bien ha excavado zanjas en el suelo y las ha llenado con cascotes de creta. Las figuras de creta dibujadas en las laderas de colinas, visibles desde kilómetros de distancia, incluyen el perfil estilizado del Caballo Blanco de Uffington, en Oxfordshire, creado en la Edad del Bronce,[14] y el orgulloso saludo del Gigante de Cerne Abbas, en Dorset, que probablemente se remonta al primer siglo d. C. [15]

La capa de creta es claramente visible en la Costa Sur, donde forma los atractivos acantilados blancos de Dover. Continúa bajo el canal de la Mancha hasta Francia, donde ha originado acantilados blancos que son la imagen especular de los de Dover y ha proporcionado el *terroir* de las grandes regiones vinícolas francesas de Champaña, Chablis y Sancerre. El túnel del Canal por el que discurren trenes de alta velocidad entre Folkestone y Calais fue excavado a lo largo de cincuenta kilómetros a través de una capa de creta margosa, un yacimiento de creta fangosa que es blando pero impermeable. Y, tal como hemos visto en el capítulo 2, el puente de creta que antaño conectaba físicamente Gran Bretaña con la Europa continental fue barrido en el transcurso de una inundación catastrófica.

Algunas rocas contienen fósiles muy bien conservados. Por ejemplo, a lo largo de la costa Jurásica del sudoeste de Inglaterra, donde argilitas de 190 millones de años de antigüedad están siendo erosionadas rápidamente por el mar, puede pasarse un día agradable paseando por la pared del acantilado a la caza de amonites espirales, belemnites en forma de bala u ofiuras fosilizadas. Sin embargo, las grandes capas de creta no contienen muchos fósiles; más bien, son fósiles. Los acantilados blancos de Dover son un bloque descubierto de roca

biológica de cien metros de altura.

Los fósiles más grandes que son visibles si se observa un pedazo de creta bajo el microscopio, de alrededor de un milímetro de diámetro, son los caparazones de múltiples cámaras de los foraminíferos, el mismo tipo de organismos marinos unicelulares que formaron los fósiles gigantes de los nummulites en la caliza empleada para construir la Gran Pirámide. Aunque la mayor parte de la creta la constituye lo que parece un polvo blanco muy fino, si aumentamos el tamaño de estas partículas pulverulentas empleando un microscopio electrónico de gran potencia, veremos que incluso estas tienen el intrincado inconfundible de los caparazones biológicos. Estas partículas cuentan con una gran variedad de formas, pero quizá las más distintivas sean los fragmentos de esferas minúsculas que parecen modeladas por platos acanalados superpuestos. Son las diminutas envolturas acorazadas de las cocolitoforales, algas unicelulares minúsculas que forman parte del plancton que flota en las aguas superficiales iluminadas por el sol.

Estos inmensos yacimientos de creta se formaron durante el periodo Cretácico tardío, hace aproximadamente entre 100 y 66 millones de años. Se trata de una época caracterizada por niveles del mar muy altos en todo el mundo, alrededor de trescientos metros por encima del actual. En aquel entonces habría estado sumergida nada menos que la mitad de la tierra firme que se halla emergida hoy en día. El mar de Tetis se elevó para inundar gran parte de Europa y del sudoeste de Asia, y extendió sus amplios brazos como grandes vías marítimas que atravesaban el centro de Norteamérica y se introducían en África del Norte.

El motivo de esta elevación de los niveles del mar no eran solo las condiciones sofocantes del Cretácico tardío que impidieron que se formaran casquetes de hielo en los polos —este ha sido el caso durante la mayor parte de la historia de la Tierra—, sino que fueron el resultado de la actividad frenética de la fragmentación continental de dicha época. Durante el Pérmico tardío, 200 millones de años antes, cuando las grandes masas continentales del mundo se habían congregado en el enorme supercontinente de Pangea, los niveles del mar

se hallaban en una de las cotas más bajas de los 500 millones de años previos. Las gigantescas cordilleras que se levantaron cuando los continentes chocaron entre sí y se fusionaron dieron como resultado que más masa continental se elevara de los océanos. Pero al fragmentarse después Pangea, grandes fisuras partieron el supercontinente. Primero, Pangea se desgarró aproximadamente por la mitad cuando Laurasia se desplazó hacia el norte, alejándose de Gondwana. Más tarde se formó el océano Atlántico Sur y después el Atlántico Norte, cuando nuevas grietas se expandieron y separaron África de Sudamérica y Norteamérica de Eurasia, respectivamente. La nueva y cálida corteza oceánica formada en estos largos rifts se elevó y dio lugar a extensas cordilleras submarinas, desplazando el agua marina circundante, de la misma manera que cuando nos metemos en la bañera llena de agua. Fue este proceso planetario lo que causó que los niveles del mar alcanzaran un máximo durante el Cretácico tardío.[16] Mares cálidos cubrieron amplias zonas de la masa continental, y proporcionaron unas condiciones favorables para el crecimiento de foraminíferos y cocolitoforales, cuyos diminutos caparazones se acumularon en espesos yacimientos de sedimento calcáreo en el fondo marino; estos fueron los que se convirtieron en creta.

A diferencia de la caliza, la creta, blanda y desmenuzable, no constituye por lo general un buen material de construcción. Pero sí que se presta a ser triturado y esparcido en terrenos agrícolas para reducir la acidez del suelo, a la producción de cal viva para cementar y a toda una serie de procesos químicos. Se pueden cocer ladrillos a partir de bloques de arcilla obtenidos de moldes, pero para construir una pared recia es necesario que dichos ladrillos están pegados fuertemente entre sí. Para esta alquimia de la construcción hemos aprendido a utilizar la caliza y la creta. Estas rocas de carbonato cálcico son trituradas y horneadas para que se descompongan químicamente (y en el proceso liberan dióxido de carbono) antes de ser mezcladas con agua para obtener una masilla blanda. De este modo, la caliza no solo nos proporciona bloques de construcción, sino también el pegamento para que otros materiales queden

unidos. La argamasa, el cemento y el hormigón son esencialmente roca artificial que puede ser extendida o vertida dándole la forma deseada y que cuando se seca se vuelve tan dura como la piedra.

La creta contiene asimismo lechos de nódulos de sílex. A diferencia del carbonato cálcico de esta, casi químicamente puro, blando y de un color blanco brillante, los sílex son burujos de silicio duros y de color oscuro. Mientras que los foraminíferos y las cocolitoforales construyen sus cubiertas de carbonato cálcico, otros organismos unicelulares del plancton, como las diatomeas y los radiolarios, forman sus partes duras de silicio. Cuando estos organismos mueren, sus caparazones se hunden hasta el fondo del mar y se disuelven. Esto produce un barro silíceo sobre el lecho marino que entonces se transforma en nódulos de sílex dentro del sedimento calcáreo.

A medida que la blanda creta es erosionada, los duraderos nódulos de sílex quedan libres y se desperdigan por el paisaje. El sílex fue asombrosamente importante en la elaboración de utensilios durante la Edad de Piedra. Al igual que la obsidiana volcánica, que, como hemos visto en el capítulo 1, fue usada para elaborar muchos de los primeros útiles en la cuna de la humanidad que fue el valle del Rift, el sílex puede ser golpeado para crear un borde o una punta muy agudos, perfectos para descarnar una pieza de caza, despellejar y rascar pieles de animales con las que hacer vestidos, dar forma a la madera o crear cuchillos y puntas de lanza y de flecha. Y este material ha seguido siendo importante desde entonces. La producción de vidrio requiere silicio de una elevada pureza, y el sílex ofrece una de dichas fuentes. Por ejemplo, George Ravenscroft empleó en 1674 sílex procedente del sudeste de Inglaterra para producir vidrio de cristal de plomo.(39) Fabricó este cristal brillante para rivalizar con el de Venecia, en cuyo caso los vidrieros obtenían el silicio tostando guijarros de cuarzo blanco obtenidos del lecho del río Ticino, procedente de los Alpes suizos.[17]

Fuego y caliza

Hasta este punto hemos analizado de qué manera rocas como la caliza y la creta han definido ciertos paisajes y han proporcionado la materia prima para la construcción en forma de bloques de mampostería y como ingredientes para argamasa, cemento y hormigón. Construimos con estos materiales para protegernos de los elementos, pero la creación misma de esta roca biológica quizá contribuyera también a proteger la vida en la Tierra de la amenaza de extinciones en masa catastróficas.

Una de las mayores convulsiones ocurridas en la historia de la vida en nuestro planeta se produjo en el límite entre los periodos Pérmico y Triásico, hace 252 millones de años. Este acontecimiento de extinción a escala global del final del Pérmico tuvo lugar cuando todas las masas continentales de la Tierra estaban fusionadas en el único supercontinente de Pangea, y fue, con mucho, la peor extinción en masa acontecida en los 500 millones de años de vida compleja en el planeta. El registro fósil revela que alrededor del 70 por ciento de todas las especies terrestres y hasta el 96 por ciento de las especies marinas fueron barridas en este apocalipsis, y que a la biodiversidad mundial le costó casi 10 millones de años recuperarse.[18] Este borrón y cuenta nueva a escala global señaló también un cambio fundamental en los seres vivos propios de la Tierra: la era de la «vida antigua» (el Paleozoico) dio paso a la de la «vida media» (el Mesozoico), una época caracterizada por los dinosaurios y los árboles del grupo de las gimnospermas, las coníferas.(40)

Se cree que la causa de la Gran Mortandad del Pérmico fueron efusiones de lava masivas. Varios pulsos de un intenso vulcanismo arrojaron un volumen total de quizá 5 millones de kilómetros cúbicos de lava que fluyó sobre cientos de kilómetros, cubriendo enormes áreas continentales con mares del material caliente que después se enfrió y se depositó como grandes regiones de roca basáltica.[19](41) A medida que estas regiones fueron cubiertas una y otra vez con lava, se formaron capa sobre capa de basalto. Estas pueden verse en la actualidad como las extensas mesetas montañosas de los Traps de Siberia; los centenares de capas dispuestas unas sobre otras se parecen a una escalera, y por

ello recibieron el nombre de la palabra del neerlandés para «escalera», *trap*.(42)

Estas grandes erupciones volcánicas debieron de liberar cantidades enormes de dióxido de carbono a la atmósfera. Además, los geólogos consideran que el magma que surgió a borbotones para formar los Traps de Siberia debía de estar sobrecargado de gases volcánicos por otros dos factores. Se piensa que cuando el penacho del manto surgió de las profundidades de la Tierra bajo Siberia fundió alguna antigua corteza oceánica que previamente se había hundido por subducción. Esta corteza reciclada era rica en compuestos volátiles y por ello liberó una gran cantidad de gas cuando se caldeó. También parece que, en su camino ascendente hacia la superficie a través de la corteza situada encima, estos basaltos de inundación encontraron estratos, como vetas de carbón, que el magma coció a temperaturas elevadas y que liberaron todavía más gas.

Por lo tanto, lo más probable es que los comienzos de la efusión de los Traps de Siberia no se pareciesen a ninguna de las erupciones volcánicas con las que estamos familiarizados en la actualidad, sino que empezaran con colosales columnas de gases procedentes del interior de la Tierra. Los enormes volúmenes de dióxido de carbono liberados por estas erupciones crearon un potente efecto invernadero. La temperatura de la superficie terrestre aumentó rápidamente, y las aguas oceánicas más profundas se volvieron anóxicas (deficitarias en oxígeno), lo que asfixió a los seres vivos del fondo marino. Otros gases volcánicos perjudiciales, como el cloruro de hidrógeno (ácido clorhídrico) y el dióxido de azufre, quizá también fueran proyectados hasta alcanzar una buena altitud, hacia la estratosfera. La salida de cloruro de hidrógeno debió de reducir mucho la capa de ozono, lo que permitió que la nociva radiación ultravioleta procedente del Sol alcanzara la superficie de nuestro planeta. Y el dióxido de azufre debió de actuar para bloquear parcialmente la luz solar, obstaculizando la vida fotosintética y a los demás seres vivos que dependen de ella, antes de precipitarse de nuevo desde la atmósfera como lluvia ácida.

Fueron esta serie de duros golpes al final del Pérmico los que hicieron que los ecosistemas de todo el planeta se desmoronaran rápidamente y desencadenaran

la mayor extinción en masa de la historia de la vida compleja sobre la Tierra. Fenómeno este que no estuvo limitado al Pérmico: se cree que otro acontecimiento de inundación de basalto hace unos 200 millones de años, en el tránsito entre los periodos Triásico y Jurásico, causó la extinción en masa que allanó el camino para que los dinosaurios se convirtieran en los animales terrestres dominantes.

Pero entonces ocurrió algo curioso. Ha habido otras varias erupciones de grandes dimensiones con inundaciones de basalto desde los acontecimientos del Pérmico y el Triásico, pero al parecer ninguna de ellas desencadenó una extinción en masa parecida. Algo tuvo que haber cambiado en nuestro planeta para hacer que la Tierra fuera mucho más resiliente a los potenciales efectos catastróficos de las megaerupciones.(43)

Dos enormes efusiones de lava, hace entre unos 60 y 55 millones de años, crearon la provincia ígnea del Atlántico Norte cuando Norteamérica se desgajó de Eurasia, en lo que constituyó el corte final en la fragmentación de Pangea. Las rocas basálticas de este acontecimiento (las columnas geométricas distintivas de la Calzada de los Gigantes, en Irlanda del Norte, y las de equivalentes características en el este de Groenlandia) se separaron por la apertura del océano Atlántico Norte. Estas efusiones de lava liberaron probablemente incluso más roca fundida que los Traps de Siberia durante la extinción del Pérmico.[21] Y, como las erupciones con inundación de basalto, el magma expulsado para formar la provincia ígnea del Atlántico Norte también pasó a través de rocas sedimentarias volátiles situadas cerca de la superficie que habrían liberado enormes cantidades de dióxido de carbono cuando se sobrecalentaron, además del que liberó la propia lava volcánica.[22]

Sin embargo, estos acontecimientos no desencadenaron ninguna extinción en masa. Ciertamente, el clima de la Tierra se vio muy afectado, y la segunda fase, hace 55 millones de años, coincidió con el Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno que hemos considerado en el capítulo 3. Pero, aunque unas pocas especies de las profundidades del mar perecieron durante este máximo térmico,

parece, en cambio, que estos sucesos estimularon la rápida evolución de los tres principales órdenes de mamíferos que dominan en la actualidad el mundo emergido: los artiodáctilos, los perisodáctilos y los primates.

Así pues, ¿qué es lo que ocurrió en la Tierra a partir del Jurásico que hizo que nuestro planeta fuera mucho más resistente frente a las extinciones en masa debidas a grandes acontecimientos de inundación de basalto?

Un factor importante fue, de nuevo, la fragmentación de Pangea. Los supercontinentes, por regla general, no eliminan con tanta eficacia el dióxido de carbono del aire. Las grandes zonas continentales del interior, alejadas del mar, se vuelven muy secas, con bajos índices de pluviosidad. Esto significa que se extrae menos CO_2 por la erosión de las rocas y que menos ríos aportan sedimentos y nutrientes al océano para fertilizar el crecimiento del plancton, con lo que también se suprime el mecanismo biológico para absorber CO_2. Así, en los últimos 60 millones de años, desde la fragmentación final de Pangea, el mundo ha sido más eficaz a la hora de eliminar el dióxido de carbono liberado a la atmósfera por las grandes efusiones de lava. Pero este no puede ser el único factor. El mecanismo geológico para reducir la cantidad de este gas en la atmósfera (por la erosión de las montañas) opera muy lentamente. Así, el aumento repentino de CO_2 como resultado de la erupción de una gran provincia ígnea provocaría una extinción en masa mucho antes de que la erosión de las rocas pudiera reducir de nuevo sus niveles. Parece ser que el factor decisivo fue una transición biológica crucial.

Durante el periodo Cretácico temprano, hace unos 130 millones de años, las cocolitoforales se expandieron desde las aguas más someras de las plataformas continentales para vivir como plancton en alta mar. Aproximadamente en la misma época, foraminíferos con caparazones de calcita también se extendieron desde su hábitat del fondo marino profundo hasta las aguas superficiales. Esto significaba que el vasto océano abierto, y no solo las aguas más someras alrededor de los continentes, albergaba plancton que producía caparazones de

calcita. Cuando los caparazones de las cocolitoforales y los foraminíferos planctónicos muertos se hundieron hasta el lecho marino formaron un nuevo tipo de sedimento, creando caliza en las profundidades oceánicas y no solo sobre las plataformas continentales.[23] Así, la vida marina se volvió mucho más eficaz a la hora de extraer dióxido de carbono de la atmósfera y de almacenarlo en rocas biológicas en las profundidades del mar. Desde dicha época, los niveles de este gas en nuestro planeta han estado reduciéndose ininterrumpidamente.

Ahora, incluso con la inyección repentina de enormes cantidades de dióxido de carbono en el aire, procedentes de acontecimientos de inundación de basalto, el plancton oceánico formador de caliza podía eliminar este gas con mucha mayor rapidez que cualquier proceso geológico. Por lo tanto, desde el Cretácico temprano la Tierra ha desarrollado un potente mecanismo de compensación para eliminar rápidamente los aumentos súbitos del dióxido de carbono volcánico antes de que puedan desencadenar calentamientos fuera de control y extinciones en masa. De modo que, cuando hace 55 millones de años el Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno desencadenó un aumento catastrófico de los niveles de dióxido de carbono y de las temperaturas globales, el plancton salvó la vida en la Tierra.

Así, la roca biológica de los acantilados blancos de Dover y la fachada de caliza del edificio de las Naciones Unidas pueden servir como recordatorios de las profundas conexiones en el seno de la Tierra que a lo largo del tiempo han creado el mundo que habitamos en la actualidad.

Sudor tectónico

El granito es el tipo de roca más común en los continentes. Tal como hemos visto, la corteza oceánica está formada por rocas basálticas fruto de la solidificación del magma reciente que rezumaba de grietas que se extendían por el fondo marino. Pero el granito es forjado, en cambio, en los límites

convergentes en los que las placas tectónicas son forzadas una contra otra.

A medida que la corteza oceánica es subducida, las rocas portadoras de agua de esta placa que desciende se funden debido a la presión y la temperatura considerables que existen a profundidades de entre 50 y 100 kilómetros, al tiempo que son caldeadas por la fricción molturadora conforme se deslizan por debajo. Este magma fundido sube y se introduce en la corteza situada por encima, donde se acumula en enormes cámaras subterráneas. Allí empieza a enfriarse, y cuando los primeros minerales cristalizan y se hunden separándose de la mezcla (los que tienen el punto de fusión más elevado), la composición química del material fundido que queda en este caldero profundo cambia lentamente. Estos minerales tienen poca sílice (dióxido de silicio), lo cual significa que el magma restante se enriquece cada vez más en ella. El magma granítico se forma también cuando los continentes colisionan y la corteza se engrosa debajo de la gran cordillera que se crea, fundiéndose parcialmente en el fondo y volviendo a ascender a través de la corteza situada encima. Cuando este magma rico en sílice se enfría y se solidifica, forma grandes masas subterráneas de granito, roca que a menudo se encuentra en el núcleo de la cordillera formada sobre ella por la misma tectónica convergente. El granito es el sudor de la tectónica de placas.[24]

Esta segunda fusión y procesamiento químico de la corteza comporta también que el granito es menos denso que el basalto. De modo que, en los choques recurrentes de la tectónica de placas, las rocas graníticas se sitúan por encima del basalto oceánico, más pesado, y no se subducen; sobreviven y se engruesan conjuntamente como la capa basal de la corteza continental. Así, el granito forma los cimientos mismos de los continentes, ubicado debajo del revestimiento de los yacimientos sedimentarios, y solo queda al descubierto en la superficie como afloramientos austeros cuando el paisaje más blando se ha erosionado a su alrededor.

Tal como hemos visto a lo largo del libro, tan pronto como las cordilleras son empujadas hacia las alturas experimentan las fuerzas rigurosas del planeta que

actúan para erosionarlas de nuevo. Los ciclos de expansión y agrietamiento de la congelación y el deshielo hienden y pulverizan sus rocas; los ríos que recorren sus laderas excavan grandes redes de valles, y los poderosos glaciares desgastan la cumbre, levantando y raspando fragmentos de la propia sustancia de la montaña para triturarla todavía más. Pero, a medida que estas son erosionadas, el peso que empuja sus gruesas raíces de la corteza hacia el interior del denso manto se reduce, con lo que flotan y se elevan un poco más. Por lo tanto, las cumbres menguantes vuelven a elevarse inexorablemente hacia las fauces molturadoras de la erosión, como un bloque de madera que un carpintero empuja con suavidad hacia un disco lijador giratorio para ir limándolo. Al final, incluso la cordillera más imponente es desmenuzada grano a grano a lo largo del enorme abismo temporal de la historia de nuestro planeta. Con el tiempo, las montañas serán desgastadas hasta el muñón más simple, exponiendo su corazón de duro granito.

De modo que cuando nos situamos sobre un pilar de granito, estamos pisando el centro mismo de una antigua cordillera. Durante su formación, este había tenido al menos 10 kilómetros de roca amontonada encima, ahora desgastada tras 100 millones de años o más de erosión. Los tolmos de Dartmoor, El Capitán del parque Nacional de Yosemite, el Pan de Azúcar de Río de Janeiro y las Torres del Paine en Chile fueron todos ellos creados y posteriormente revelados de esta manera.[25]

El granito es duro y resistente, con una textura de grano grueso producto de los grandes cristales que tuvieron tiempo de crecer y desarrollarse a medida que el material se derretía lentamente y se enfriaba a gran profundidad. Puesto que el granito representa solidez y perdurabilidad, lo hemos utilizado para construir monumentos impresionantes a lo largo de la historia. Quizá el monumento de granito más famoso del mundo sea el monte Rushmore, en Dakota del Sur. Esta masa granítica se formó hace 1.600 millones de años, y en la década de 1930 se esculpieron las caras de cuatro presidentes estadounidenses, Washington, Jefferson, (Theodore) Roosevelt y Lincoln, en la cara sudoriental, para que

captaran la mayor cantidad posible de luz. (El proyecto original preveía esculpir la forma de los presidentes hasta la cintura, pero la financiación se agotó.) El granito de esta escultura es muy resistente, y se erosiona a un ritmo de solo unos 2,5 mm al milenio; permanecerá muchísimo tiempo como un símbolo de los ideales norteamericanos. De hecho, quien diseñó el monumento tuvo esto en cuenta y mandó esculpir los rasgos de los presidentes varios centímetros más gruesos, de modo que se hayan desgastado hasta alcanzar el tamaño real dentro de 30.000 años.[26]

En el mundo antiguo, los egipcios fueron los maestros del trabajo con granito, material que obtenían del valle del Alto Nilo, de canteras de Nubia, en lo que ahora es el norte del Sudán.[27] Lo esculpieron en sus columnas, sarcófagos y obeliscos más duraderos, como las «agujas de Cleopatra» que en la actualidad se hallan en Londres, París y Nueva York (aunque el nombre es equívoco, pues fueron hechas unos mil años antes del reinado de Cleopatra).(44) De hecho, fue el redescubrimiento de los monumentos del Antiguo Egipto y su exhibición en el Museo Británico lo que, a principios del siglo XIX, llevó a los canteros europeos a intentar emular sus obras y esculpir el granito, y solo tuvieron éxito gracias al desarrollo en Aberdeen de maquinaria accionada por vapor para cortarlo y alisarlo.[28] Gran parte del granito usado en Gran Bretaña procede de allí, donde se formó bajo la gran cordillera de los montes Grampianos hace 470 millones de años,[29] tiempo suficiente para que la erosión eliminara los kilómetros de roca que lo cubrían y revelaba el núcleo granítico.

Pero ni siquiera la perdurable resiliencia del granito es inmune a la acción implacable de los elementos. Al reaccionar lentamente con el agua, se pudre químicamente y experimenta una transición casi mágica. Los cristales de cuarzo se desprenden como granos de arena, y otro componente mineral del granito original, llamado feldespato, se convierte químicamente en caolín, un tipo de arcilla. El agua extrae otras impurezas del granito en descomposición para dejar solo las partículas finas y escamosas de la más pura de las arcillas, de aspecto

níveo. Esto puede ocurrir cuando el granito profundo ha sido exhumado lentamente y expuesto a los elementos, o mientras todavía está bajo tierra y su propio calor impulsa sistemas hidrotermales en las grietas y fisuras subterráneas. (45)

El caolín no solo tiene un color albo puro, sino que sus partículas pulverulentas y escamosas lo hacen maravillosamente blando y maleable. Esta arcilla puede ser calentada a temperaturas elevadas para elaborar cerámica que es en particular fuerte y también traslúcida. Por ello el caolín es la materia prima para la más fina de todas, la porcelana.

Este tipo de cerámica fue desarrollada primero por los chinos hace unos 1.500 años, y llegó al mundo islámico en el siglo IX d. C. El comercio de porcelana en Europa le dio su nombre en inglés, *fine china*.(46) La cocción de los jarrones, las jarras, los cuencos y los juegos de té a temperatura elevada los vuelve resistentes incluso cuando son muy delgados, y les confiere una delicadeza refinada y una traslucidez casi etérea. Esto es lo que hizo que la porcelana fuera tan apreciada y alcanzara un precio tan alto en comparación con otras cerámicas de arcilla; la loza y el gres conservan su color fangoso opaco incluso cuando son vidriados de colores.

Cuando intentaron emular la porcelana, los ceramistas ingleses añadieron la ceniza molida de huesos procedentes de sus mataderos, pero, aunque reproducía el color blanco, esta porcelana de hueso seguía siendo inferior a la auténtica. Acabaron por descubrir el ingrediente secreto de la arcilla del caolín, y la primera remesa que tuvo éxito desde el punto de vista comercial en Inglaterra fue fabricada en Stoke-on-Trent en las postrimerías del siglo XVIII. La zona tiene abundante carbón para encender los hornos de cerámica, y las alfarerías de Staffordshire hicieron uso al principio de los yacimientos de arcilla que se encuentran entre las vetas de carbón locales, que quemaban para producir ladrillos de construcción, baldosas o tarros enormes para transportar mantequilla hasta Londres mediante caballos de tiro.[31] Con el desarrollo de técnicas para

fabricar porcelana de hueso fina, Stoke-on-Trent se convirtió en el principal centro de producción en toda Europa de este rival de la porcelana. Pero, aunque sus alfares tenían cerca abundante carbón para sus hornos, que acabaron usando para máquinas de vapor que trituraban y mezclaban los materiales en bruto y accionaban las ruedas de los ceramistas, necesitaban importar el caolín necesario de Cornualles. Al igual que Aberdeen, Cornualles tiene formaciones de granito al descubierto, pero aquí la roca ha sido procesada hidrotermalmente y ha dado lugar a la blanda y blanca arcilla del caolín. La demanda de caolín de Cornualles para abastecer los alfares de Stoke, así como la de transporte para distribuir la fina porcelana acabada por toda Gran Bretaña, fueron uno de los principales impulsores para la excavación de la red de largos canales en las fases iniciales de la Revolución industrial.(47)[32]

De esta manera, el granito, formado como el sudor de enfriamiento lento de las presiones aplastantes y del calor de la tectónica de placas, confiere por un lado a los monumentos su solidez perdurable y, por otro, se convierte en una de las sustancias más frágiles y delicadas, la porcelana.

En suelo británico

Hemos visto al principio de este capítulo cómo los antiguos egipcios y mesopotámicos erigieron sus civilizaciones con los materiales de construcción que la Tierra les proporcionaba bajo sus pies. Esto es tan cierto en el caso de toda la historia moderna como lo fue para las primeras civilizaciones. Veamos ahora cómo el mundo subterráneo, que normalmente no se ve, se refleja en el aspecto de los edificios a lo largo y ancho de Gran Bretaña, el país en el que se dibujó el primer mapa geológico a escala nacional.(48)

La geología de Gran Bretaña es particularmente diversa, y muestra afloramientos rocosos de casi todas las edades de la historia de la Tierra durante los últimos 3.000 millones de años. A lo largo del tiempo, los movimientos

tectónicos y la erosión han vuelto a poner al descubierto estos diferentes estratos en complejas franjas arremolinadas por todo el país. Por edad están situadas aproximadamente de norte a sur, desde las rocas más antiguas de las tierras altas escocesas hasta las formaciones más jóvenes, creadas durante los últimos 65 millones de años, del sudeste. Es fascinante ver que en el curso de la historia las características de los edificios británicos reflejaron por lo general la geología local; reconocemos el granito oscuro de los edificios de Aberdeen y de las granjas de la región de Dartmoor, la arenisca de color beis del Carbonífero en Edimburgo y Yorkshire, las calizas doradas del Jurásico de los pueblos de los Cotswolds, y el cálido color pardo de la arcilla empleada para los ladrillos y las tejas de Londres y sus alrededores. Hemos extraído la geología que hay bajo nuestros pies y la hemos amontonado en paredes, y, con solo mirar una fotografía de un edificio tradicional, un geólogo tendría una buena idea de en qué parte de Gran Bretaña fue tomada.

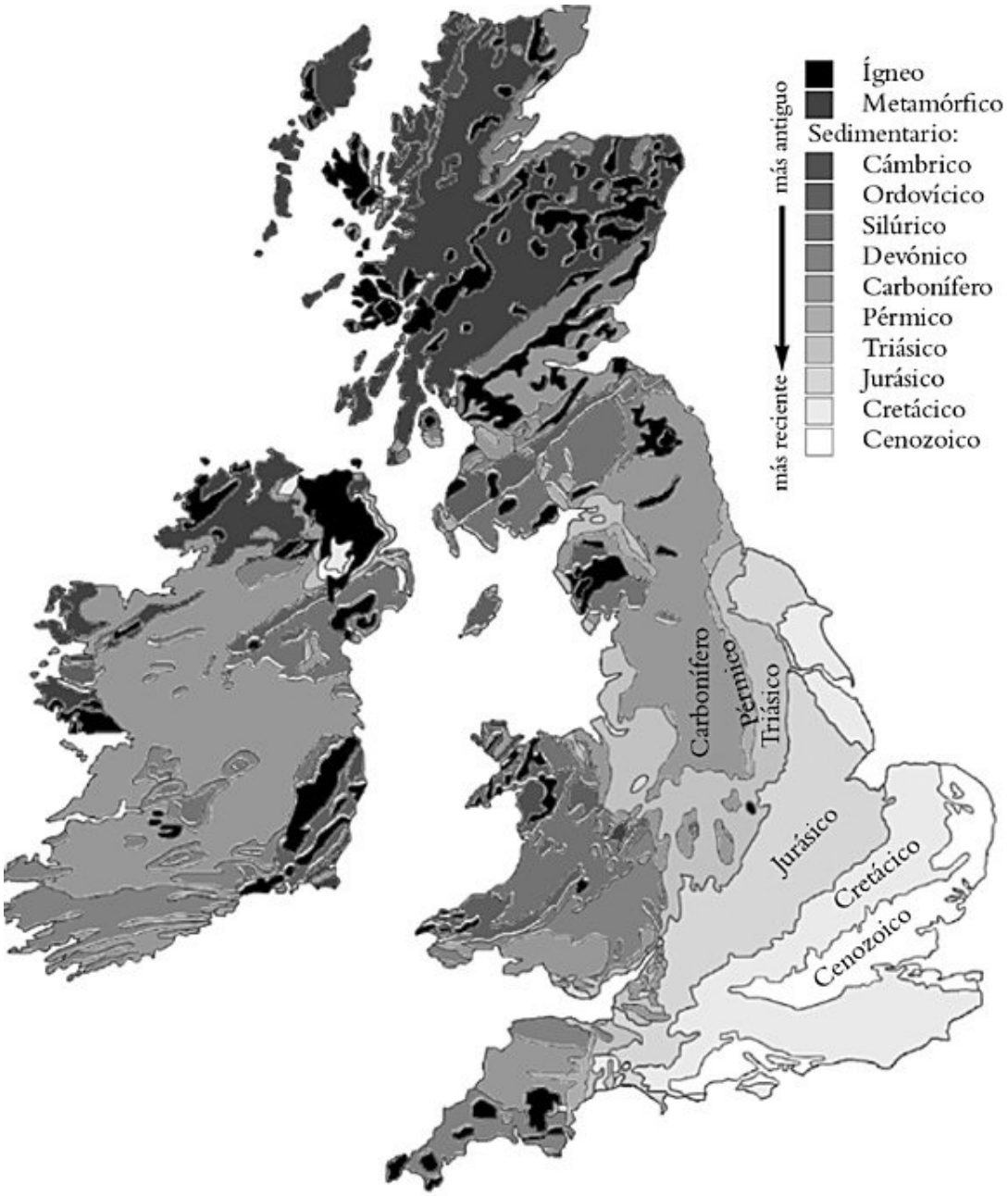


FIGURA 15. Mapa geológico de las Islas Británicas.

Los lugares que no disponían de una piedra autóctona adecuada tenían que apañárselas lo mejor que podían. La creta no es un gran material de construcción; es una roca blanda y que se deshace, y no se comporta bien ante el desgaste meteorológico. Sin embargo, ocasionalmente ha sido empleada como un material denominado *clunch*, en forma de masas irregulares de escombros o

cortada en bloques y dispuesta en hiladas, por ejemplo, tanto en East Anglia como en Normandía. Pero, por lo general, en todo el paisaje cretácico hubo que encontrar alternativas. Muchas casitas de campo de las tierras de creta de Suffolk y Norfolk fueron construidas a partir de estructuras de madera, que se rellenaron con bajareque (un entramado de ramitas cubierto con tierra húmeda y paja) y después se encalaron con una solución hecha con creta. Estas estructuras de madera son robustas, y si se las protege bien de la humedad son lo bastante duraderas para sobrevivir durante siglos. Puesto que las tierras cretácicas también ofrecían poco material para elaborar tejas, los edificios en esta zona geológica se techaban tradicionalmente con juncos o con los rastrojos que quedaban tras la cosecha de trigo. Así, aunque estos edificios con armazón de madera y techo de paja han llegado a representar la campiña inglesa por antonomasia, en realidad reflejan la escasez de piedra adecuada para la edificación en la geología local.[34]

Estos estilos de edificación idiosincrásicos se volvieron mucho más homogéneos con la Revolución industrial. Se produjeron en masa ladrillos para construir molinos, fábricas y viviendas de obreros en las ciudades en crecimiento, y se transportaron a distancias muy grandes a lo largo de los canales y, posteriormente, de las vías férreas. La pizarra, extraída desde tiempo atrás de las rocas cámbricas de 500 millones de años de los alrededores de Snowdonia, en el norte de Gales, empezó a ser usada como material para revestir la techumbre en todo el país. Es una roca de grano fino que surgió como argilita en el fondo marino antes de ser aplastada y metamorfosearse en la prensa de la tectónica de placas. Esto obligó a todas sus partículas a disponerse a lo largo de un plano concreto, de modo que un hábil golpe de escoplo puede partirla en rebanadas delgadas y perfectamente planas; por ello es ideal para producir tejas. La pizarra galesa abasteció a las ciudades industriales en expansión durante todo el siglo XIX, y estas delgadas obleas del periodo Cámbrico han rematado hasta hoy en día edificios de toda Gran Bretaña.[35]

Las rocas de las diferentes regiones de todo el mundo han sido importantes no solo a la hora de proporcionar la materia prima para nuestros proyectos de construcción a lo largo de la historia, sino que la geología subyacente también ha determinado cómo se han desarrollado nuestras ciudades modernas.

Si el lector puede recordar algún viaje a Manhattan, o lo visita ahora con Google Earth, verá que hay dos zonas principales de rascacielos elevados: el denso grupo del distrito financiero del centro, en el extremo meridional de la isla, y Midtown, donde se hallan el edificio Chrysler, el Empire State y el Rockefeller Centre. Entre estos dos nodos de edificios de muchísimos pisos hay una extensión de otros más bajos. A finales de la década de 1960, un geólogo indicó que la distribución de edificios se corresponde con los estratos invisibles situados bajo las calles.[36]

Masas de una roca metamórfica oscura y dura conocida como esquisto (originalmente fango o arcilla transformados en el calor apabullante de las profundidades de la Tierra) afloran por toda la ciudad; en su pausa para el almuerzo, los neoyorquinos pueden sentarse sobre un bloque de esquisto en el Central Park mientras mordisquean sus bocadillos. El esquisto de Nueva York se coció bajo una enorme cadena montañosa que recorre el este de Estados Unidos desde la costa del Labrador hasta Texas, así como hasta el este de México y Escocia (antes de que el océano Atlántico Norte se abriera a partir de un rift). Esta cordillera de Grenville recorría la parte central de un supercontinente más antiguo todavía que Pangea, llamado Rodinia. Hace aproximadamente 1.000 millones de años, Laurentia colisionó con otras dos placas continentales, fusionándolas y haciendo emerger la cordillera de Grenville. A lo largo de los eones de tiempo transcurridos desde entonces, mientras los continentes se separaban y se recombinaban en diferentes configuraciones, la erosión lenta pero persistente ha ido reduciendo esta cordillera hasta el punto de que en la actualidad solo queda la base.

En Nueva York, las rocas de esquistos se hallan en un sinclinal, un buzamiento parecido a una depresión situado bajo tierra que hace que la capa de

esquisto se halle cerca de la superficie en el extremo sur de Manhattan y, de nuevo, en Midtown. Esta dura roca metamórfica basal proporciona el cimiento perfecto para soportar el inmenso peso de los elevados rascacielos. En medio, ubicada en el cuenco del sinclinal de esquisto, hay roca más blanda y menos capaz de sostener edificios voluminosos. Los factores socioeconómicos desempeñaron también un papel relevante en la pauta que siguen los rascacielos, pues el desarrollo tuvo lugar en los centros comerciales ya establecidos, por ejemplo, pero en general el perfil de Manhattan sigue la geología subyacente: las zonas con los edificios más altos están sostenidas por el duro esquisto. El invisible mundo subterráneo (los muñones desgastados de una cordillera realmente antigua) se refleja en la superficie en los altos rascacielos de los distritos comerciales; monumentos no a los dioses, sino al capitalismo.[37]

Londres es, en algunos aspectos, lo opuesto a Manhattan. En lugar de ser una isla limitada por dos ríos, es una ciudad construida alrededor de un río. Aun así, está situado en un entorno geológico similar. Su cuenca, en forma de cuña, se halla en el fondo de un sinclinal, donde las capas de roca quedaron dobladas en una depresión, en este caso por las fuerzas tectónicas que también elevaron los Alpes. De hecho, la cuenca de Londres es fruto de la misma ondulación de rocas superficiales que la protuberancia del anticlinal de Weald-Artois que antaño formó el puente continental entre Dover y Calais, y que ya hemos tratado en el capítulo 2. Mientras que en Manhattan el sinclinal lleva cerca de la superficie esquistos, rocas duras y metamórficas en las partes baja y media de la isla, Londres y todo el valle inferior del Támesis recorren el fondo de la depresión del sinclinal. Esta se llenó con una capa de arcilla cuando un mar somero y cálido lamió su estrechamiento hace unos 55 millones de años.

Esta arcilla de Londres es claramente poco adecuada para construir los edificios más altos de la era moderna. La razón por la que Londres, a diferencia de Nueva York, tiene tan pocos rascacielos es la gruesa capa de arcilla blanda, parecida a masilla, que hay debajo de la ciudad. Torres tales como The Shard o One Canada Square en el Canary Wharf tuvieron que ser construidas con

cimientos de pilotes muy profundos para sostener su peso. Sin embargo, esta misma capa es ideal para excavar túneles: es blanda a la hora de perforarla, pero forma un manto estable e impermeable al agua para el túnel.

Londres construyó la primera línea de metro subterráneo en 1863, y en la actualidad el llamado Tube consta de una red de líneas de más de 400 kilómetros que dan servicio a 270 estaciones (aunque no todas son subterráneas). La geografía subyacente también explica por qué el Londres Norte está tan bien comunicado gracias a la red de metro pero la parte sur tiene muchas menos líneas. Al sur del Támesis el estrato de arcilla se hunde muy por debajo de la red, y entonces hay que abrir los túneles perforando estratos de arena y grava, mucho más difíciles. La arcilla de Londres es también la razón por la que en el metro hace un calor tan incómodo. Las cuevas subterráneas suelen ser agradablemente frescas, de modo que esto puede parecer una paradoja. En realidad, cuando se excavaron por primera vez los túneles, la temperatura de la arcilla era de unos 14 ºC; de hecho, en los primeros días se hacía publicidad del metro como un lugar en el que estar fresco en un caluroso día de verano. Pero, después de más de un siglo, el calor desprendido por los motores y frenos de los trenes (así como por los millones de pasajeros) lo han absorbido las paredes de los túneles. Y, puesto que la densa arcilla es un aislante térmico notablemente bueno, este calor no ha encontrado ningún otro lugar al que ir.[38]

Así, mientras que las primeras verdaderas ciudades del mundo, en las llanuras fangosas de Mesopotamia, fueron construidas a partir de ladrillos de adobe secados al sol, la arcilla subyacente continúa dirigiendo la manera en que nuestras metrópolis modernas se desarrollan: la extensa red subterránea del metro de Londres contrasta con los altísimos rascacielos de Nueva York.

Pasemos ahora de cómo la geología que hay bajo nuestros pies nos ha ofrecido el ingrediente natural para construir nuestras civilizaciones y ciudades a cómo aprendimos a extraer de las rocas los materiales para los utensilios y la tecnología con los que transformamos nuestro mundo.

6

Nuestro mundo metálico

Hemos visto como los primeros utensilios de la humanidad fueron construidos de piedra (golpeando trozos de sílex, obsidiana o pedernal) o de madera, hueso, cuero y fibras vegetales. A medida que avanzamos a través de los periodos Paleolítico, Mesolítico y Neolítico (las edades de Piedra Antigua, Media y Nueva) perfeccionamos estas tecnologías, pasando de hacer cortadores y raspadores de mano grandes a lascas de piedra pequeñas y afiladas adecuadas como puntas de lanza y de flecha. Pero el inicio de la Edad del Bronce señaló una transición profunda en el relato humano; en lugar de elaborar utensilios remodelando simplemente lo que se podía recolectar del mundo natural a nuestro alrededor, aprendimos cómo transformar a propósito materiales en bruto, extrayendo brillantes metales de sus menas rocosas, forjándolos y moldeándolos, y perfeccionando mezclas de aleación. Además, el ritmo de la innovación tecnológica se aceleró con el paso del tiempo. Hicieron falta 3 millones de años para pasar de los homininos que elaboraban utensilios líticos a partir de esquirlas a los humanos que fundieron el primer cobre; pero progresamos desde la Edad del Hierro hasta los vuelos espaciales en solo 3.000 años.

Los metales fueron muy revolucionarios en la historia humana porque ofrecen una serie de propiedades que ningún otro material proporciona. Pueden ser muy duros y fuertes, pero a diferencia de la cerámica o el vidrio, ambos quebradizos, también son flexibles y resistentes a la destrucción. Para nuestras tecnologías más recientes, pueden conducir la electricidad y resistir las enormes temperaturas a las que se ve expuesta la maquinaria de alto rendimiento. Y a lo

largo de las últimas décadas hemos llegado a explotar una variedad de metales apabullante para nuestra última tecnología, en especial en los modernos dispositivos electrónicos.

En este capítulo estudiaremos la manera en que los metales han transformado la sociedad humana, desde la Edad del Bronce a la Edad de Internet, y cómo la Tierra nos los proporcionó.

Nace la Edad del Bronce

El primer metal que fundimos para elaborar utensilios y armas fue el cobre. Las menas de cobre suelen ser fáciles de localizar (al contener minerales de un atractivo color azul o verde), y el metal es fácil de fundir; se puede extraer tostando pedazos de la mena con carbón vegetal en el mismo tipo de horno que se usa para cocer cerámica. El carbón vegetal proporciona tanto la temperatura elevada necesaria como la química «reductora» para eliminar del metal el óxido, el sulfuro o el carbonato con el que está enlazado en la roca y obtener cobre puro.

El problema del cobre es que es un metal muy blando; los bordes de los utensilios trabajados con él se mellan con facilidad y han de ser afilados continuamente. Se obtiene un material muy superior al mezclarlo con otro metal para conseguir una aleación, bronce. Cuando átomos más grandes se intercalan con los del cobre hacen que el metal no sea tan maleable; en esencia, impiden que las capas de sus átomos se deslicen tan fácilmente unas en relación con las otras, lo que hace que la mezcla metálica sea más dura y más duradera. El primer bronce que se produjo era una aleación de cobre y arsénico, pero esta mezcla fue mejorada con el bronce de cobre y estaño que se elaboró por primera vez en Anatolia y Mesopotamia a finales del cuarto milenio a. C., y que después se extendió a Egipto, China y el valle del Indo.[1] Una ventaja concreta de este tipo de bronce es que se funde a una temperatura mucho más baja y no burbujea, de

modo que se puede verter sin problemas en un molde para obtener una pieza fundida.[2] Esto permite que los artesanos den a la herramienta cualquier forma que se precise, y que después la reparen o incluso vuelvan a fundirla y verterla en el molde si se desgasta o se rompe.[3] El bronce se convirtió pronto en el material más común para hacer objetos ceremoniales, utensilios de cocina, herramientas agrícolas y armas.[4] El Neolítico había dado paso a la Edad del Bronce.

El uso pionero del bronce en Mesopotamia es sorprendente, pues la región no contaba con fuentes de estaño y este ingrediente crucial de la aleación a la fuerza tuvo que ser importado de zonas muy distantes. El estaño usado en Eurasia occidental durante la Edad del Bronce procedía de minas de los montes Metálicos, a lo largo de la frontera actual entre Alemania y Chequia,[5] de Cornualles y, en menor medida, de Bretaña. Las minas de Cornualles, en particular, llegaron a ofrecer al mundo antiguo una gran cantidad del estaño que necesitaba. Las menas de este metal vital se formaron cuando el magma de granito se introdujo en capas de rocas sedimentarias. El calor de esta mole de magma impulsó sistemas hidrotermales subterráneos, y el agua caliente en circulación disolvió metales del volumen circundante y después volvió a depositarlos en fisuras y fracturas en la roca superior en forma de vetas de rica mena.[6]

Sabemos que, desde aproximadamente el año 450 a. C., los fenicios comerciaban con estaño, que iban a buscar a Europa septentrional y luego transportaban en barco a través del estrecho de Gibraltar, y con anterioridad lo habían hecho a lo largo de rutas terrestres hasta el Creciente Fértil.[7] Y puesto que el estaño era escaso en el mundo antiguo, debió de alcanzar un precio elevado. El mineral de cobre, en cambio, estaba distribuido más ampliamente, y la Tierra lo ha puesto a nuestra disposición mediante un proceso bastante intrigante.

Desde el fondo del mar hasta la cumbre de la montaña

Los artesanos de la Edad del Bronce en el Mediterráneo, Egipto y Mesopotamia se basaban mucho en el cobre extraído de Chipre;[8] de hecho, la isla dio su nombre a la palabra en latín (*cuprum*), y de ahí el símbolo moderno del elemento, Cu. Hemos visto en el capítulo 4 que la estructura geológica del Mediterráneo creó el ambiente perfecto para unas sociedades marítimas prósperas, y los procesos tectónicos en este rincón del mundo proporcionaron asimismo las materias primas cruciales para forjar civilizaciones durante la Edad del Bronce.

El cobre, junto con otros metales como el cinc, el plomo, el oro y la plata, se deposita en concentraciones elevadas en las dorsales que se expanden en el centro de los océanos,[9] donde las placas tectónicas se apartan unas de otras y el magma aflora para formar nueva corteza oceánica. Magma caliente rezuma muy cerca de la superficie, directamente a lo largo de estas grietas que se abren en la cáscara de la Tierra. El agua de mar fluye alrededor de las rocas del fondo marino y las empapa, y allí encuentra este magma y se sobrecalienta. Después sale de nuevo a través de la corteza, y al hacerlo lava los minerales de la roca circundante, antes de ser inyectada con fuerza desde el fondo marino por medio de descargas hidrotermales. Cuando este fluido caliente rico en minerales se encuentra con la fría agua oceánica, partículas de minerales de sulfuros metálicos precipitan en una columna negra como la tinta, turbulenta y espesa, lo que confiere a estas descargas hidrotermales un apodo mucho más evocador, «fumarolas» o «humeros negros». Estas fumarolas negras forman grupos de altas estructuras parecidas a chimeneas, como si se tratara de un paisaje industrial inspirado por Gaudí, en las profundidades del océano, negras como boca de lobo.

Los humeros negros funcionan como oasis en el estéril fondo marino para algunos de los seres vivos más extremos de la Tierra. Estas comunidades

exóticas, que viven mucho más allá de donde alcanza la luz solar, incluyen gusanos tubícolas gigantes, de dos metros de longitud, que eran completamente nuevos para la ciencia cuando se descubrieron los primeros campos de humeros negros, mediante submarinos, a finales de la década de 1970, así como camarones, caracoles y cangrejos de color blanco pálido. Estos ecosistemas sin sol se basan en microbios capaces de crecer mediante fuentes de energía inorgánica como los metales y el sulfuro que escupen los humeros.

Las partículas que salen a chorro en el océano se sedimentan para cubrir la zona alrededor de los humeros, en las profundidades del fondo marino, de elevadas concentraciones de metales valiosos (cobre, cobalto, oro y otros), pero en la actualidad los mineros no pueden acceder a ellas. Hacen falta circunstancias especiales para que estos yacimientos metálicos nos resulten accesibles.

Como hemos visto, en los límites convergentes de las placas, donde dos placas tectónicas chocan de frente, gruesas capas de sedimentos del fondo del mar se pliegan en cordilleras. De resultas de ello, es fácil encontrar fósiles de organismos marinos en las cumbres montañosas del Himalaya o de los Alpes, por ejemplo. Antaño, estos fósiles se atribuían a acontecimientos mitológicos como el gran diluvio de Noé, el Diluvio Universal, hasta que comprendimos el asombroso poder de la tectónica de placas para mover las tierras. Pero la misma corteza oceánica, que contiene antiguos humeros negros, está compuesta de densa roca basáltica y casi siempre se subduce bajo la corteza continental más ligera y es tragada hacia las profundidades de la Tierra. Sin embargo, de vez en cuando unas pocas rebanadas de corteza oceánica se libran de ser arrastradas a las profundidades y, en cambio, son estrujadas y ascienden hasta situarse sobre la corteza continental.[10] Parece que esto se produce con más frecuencia en el caso de las placas más pequeñas, tal como ocurre en el Mediterráneo con los fragmentos de placas que quedaron atrapados entre África y Eurasia cuando los dos chocaron entre sí. Y esto es exactamente lo que aconteció en la isla de Chipre.

La elevación ovalada del macizo de Troodos en el centro del país es el mejor ejemplo existente en el mundo de una ofiolita, una rebanada de corteza oceánica que quedó varada sobre la continental.[11] Esta corteza oceánica se originó en aguas profundas hace unos 90 millones de años, en un rift en expansión del Tetis,[12] y quedó alzada sobre Chipre al cerrarse dicho mar, cuando África penetró en Eurasia. Las montañas de Troodos no han resultado excesivamente deformadas, de manera que este ofiolito muestra una sección transversal muy bien conservada de las capas del interior de la corteza oceánica;[13] existen incluso fósiles reconocibles de gusanos tubícolas y caracoles junto a antiguos humeros hidrotermales. Troodos es como un pastel de capas que se acumuló lentamente, y cuando las montañas se erosionaron sus capas quedaron expuestas en anillos concéntricos. El pico más alto, situado en el centro, lo conforman rocas del manto que normalmente se encontrarían diez kilómetros por debajo, en el fondo marino.[14]

La ofiolita de Troodos ofrece a los geólogos una oportunidad perfecta para estudiar cómo se forma la nueva corteza oceánica en un rift en expansión (que, desde luego, es algo difícil de observar en acción en los límites de placas constructivos actuales, como la dorsal mesoatlántica). Para las civilizaciones de la Edad del Bronce, sin embargo, también hizo que los metales que habían sido expulsados por antiguos humeros negros del fondo marino fueran oportunamente accesibles. Con un pedazo de corteza oceánica volcado en tierra, los mineros de Chipre pudieron excavar en el nivel pertinente de la ladera en el que se hallaban los yacimientos metalíferos. De hecho, Troodos ofrecía menas fabulosamente enriquecidas, que contenían hasta el 20 por ciento de cobre.[15]

A partir del segundo milenio a. C., Chipre se convirtió en el principal proveedor de cobre a Mesopotamia, Egipto y el mundo mediterráneo.[16] Como hemos visto, en la Edad del Bronce se usaba carbón vegetal para cocer la mena en hornos de fundición a fin de que desprendiera el metal, de modo que la productividad de Chipre dependía también de una gran provisión de leña. De hecho, al estudiar los cuatro millones de toneladas de pilas de desechos vertidos

en la isla fruto del proceso de extracción del cobre metálico de la roca excavada, los arqueólogos han podido calcular cuánta madera fue necesaria. Resulta que, a lo largo de los 3.000 años de producción de cobre en Chipre, toda la superficie de pinares que cubren las llanuras y las laderas de las montañas de la isla tuvo que haber sido talada al menos dieciséis veces,[17] un ejemplo temprano de gestión sostenible de los bosques.[18]

Buena parte del cobre chipriota fue comercializado por los minoicos, la primera gran civilización en Europa.[19] Asentados en la isla de Creta, pero con centros comerciales en todo el Mediterráneo oriental, los minoicos prosperaron durante más de un milenio, más o menos a partir del año 2700 a. C.[20] No sabemos cómo se llamaba a sí mismo este pueblo; el término «minoico» lo inventaron arqueólogos a principios del siglo XX a partir del mito griego del rey Minos (con su laberinto y el minotauro), que se creía que vivió en Creta.[21] Los minoicos construyeron grandes complejos palaciegos de varios pisos y también eran expertos en el almacenamiento y la distribución de agua, y disfrutaron de pozos, cisternas y acueductos bien desarrollados mucho antes que los romanos... y del primer aseo de descarga en el palacio real de Cnosos.[22] Pero, por encima de todo, eran grandes broncistas y marineros, y difundieron su influencia cultural gracias a su pericia en el mar y sus redes comerciales, que se extendían por todo el Mediterráneo oriental.[23] La mayoría de los artefactos y utensilios de bronce que los minoicos produjeron y exportaron los elaboraron con cobre extraído de las minas de la cercana isla de Chipre. Esta civilización se hizo rica al comerciar con este valioso metal y enviarlo por todo el mundo conocido. Pero, como hemos visto en el caso de Irán, gozar del botín de la tectónica de placas puede tener un lado negativo.

La misma frontera de subducción que creó los ricos yacimientos de cobre en Chipre pasa cerca de Creta, y forma una profunda fosa que se halla solo a 25 kilómetros al sur de sus costas. Una consecuencia de la subducción es que la placa que se hunde desprende goterones de roca fundida que suben a la

superficie para alimentar un arco de volcanes. Esta fila volcánica se forma en el manto, directamente encima del punto de fusión, de modo que aparece en la superficie a una distancia característica corriente abajo de la línea de subducción. El arco Helénico está situado a unos 115 kilómetros al norte de la fosa cretense, y allí, del oleaje del mar Egeo, sobresalía el pico volcánico de Tera (que en la actualidad se conoce como Santorini). Este volcán activo ha entrado en erupción de vez en cuando durante miles de años, pero, en algún momento entre 1600 y 1500 a. C., Tera detonó abruptamente en una de las erupciones más violentas de la historia.

La erupción destruyó casi por completo Tera (la caldera sumergida que quedó es una simple cáscara de la montaña original) y el enorme penacho de roca pulverizada arrojada al cielo cubrió completamente Creta de cenizas. Puertos como el de Amniso, en la costa norte, encarado a Tera, que estaba a 100 kilómetros de distancia, fueron devastados, enterrados por la piedra pómez que fue barrida hasta allí por un tsunami desencadenado por la explosión. Pero, de manera muy parecida a como la erupción del Vesubio destruyó las ciudades romanas de Pompeya y Herculano un milenio y medio más tarde, para los arqueólogos la catástrofe sirvió para obtener una instantánea de la vida minoica de la época, al conservar su escritura distintiva, la cerámica, las obras de arte y la arquitectura.(49)

Parece que esta explosión catastrófica no coincidió exactamente con el derrumbe de la floreciente civilización minoica, aunque datar con precisión cada uno de dichos acontecimientos es difícil.(50) Pero lo que es evidente es que, unas pocas generaciones antes de la erupción de Tera, la sociedad minoica se encontraba en un declive terminal; sus palacios fueron destruidos[25] y la isla sucumbió a la invasión de los griegos de Micenas.[26] Lo que había hecho que los minoicos tuvieran tanto éxito era su dominio marítimo y su comercio, de modo que la pérdida repentina de gran parte de su flota y de sus puertos debido al tsunami que siguió a la erupción, así como la destrucción de su principal puerto comercial, Acrotiri, en la misma Tera, debieron de asestar un duro golpe a

su infraestructura económica. También es probable que padecieran una grave escasez de alimentos, e incluso hambrunas, a raíz de la pérdida de sus barcas de pesca y la inundación de sus campos agrícolas por agua del mar.[27] El desastre natural cambió el equilibrio de poder en la región y dejó a Creta vulnerable a la conquista micénica. Pero fueron los fenicios, que habitaban en la franja de tierra que ahora es Siria, Líbano, Palestina e Israel, los que acabaron por dominar el comercio marítimo en el Mediterráneo.[28]

El macizo chipriota de Troodos del que los minoicos habían obtenido su cobre forma un ofiolito grande, accesible y excepcionalmente bien conservado, pero no es el único. Cuando la colisión entre las placas cerró el mar de Tetis para crear el Mediterráneo, otras rebanadas de antigua corteza oceánica quedaron depositadas encima. Pueden encontrarse asimismo yacimientos metálicos ofiolíticos en bandas ubicadas a ambas orillas del Mediterráneo, en el interior de las cordilleras de los Alpes, los Cárpatos, el Atlas y el Tauro. Y otros acontecimientos de cierre de un océano han arrojado en todo el mundo asimismo corteza oceánica hacia arriba. Algunas de las mayores minas de hoy en día, como Río Tinto en España, Noranda en Canadá y las que hay a lo largo de los montes Urales en Rusia, penetran en ricos yacimientos metalíferos de humeros negros de cobre, cinc, plomo, plata y hierro.[29]

El bronce de cobre y estaño proporcionó a la humanidad herramientas, utensilios y armas de metal durante unos dos milenios, antes de que lo sustituyera un metal muy superior, el hierro.

Del hierro forjado al acero

En realidad, hemos estado usando hierro durante decenas de miles de años, no por sus propiedades metálicas, sino como un pigmento de colores vivos para adornarnos y expresarnos. El ocre puede variar en color desde el pardo al rojo vivo, pasando por el amarillo, en función del mineral de óxido de hierro concreto

y de cuánta agua contenga en su estructura. Hemos molido las diversas formas de ocre hasta obtener un polvo para decorarnos el cuerpo y colorearnos el pelo, y lo hemos preparado como pintura para el arte rupestre en rocas y cuevas desde hace al menos 30.000 años. Además, parece que la especie humana no fue la primera en usar estos colores naturales; el ocre ha sido hallado también junto a artefactos de sílex en localidades neandertales que tienen más de 200.000 años de antigüedad.[30]

Sin embargo, lo que fue realmente transformador en la historia de la civilización fue aprender a extraer hierro metálico puro de estas menas de óxido de color herrumbroso. Tal como hemos visto, aunque había varias fuentes de cobre, el estaño fue muy escaso durante toda la Edad del Bronce. El hierro, en cambio, está disponible en yacimientos enormes y está ampliamente distribuido por todo el mundo. Pero la razón de que fuese explotado más tarde que el cobre y el bronce es que es un metal mucho más difícil de extraer de su mena rocosa.

El primer horno desarrollado para fundir hierro fue el de palancón, en el que la mena de este metal y el carbón de leña se encendían juntos, pero no a temperaturas lo bastante altas para conseguir que el hierro se fundiera y fluyera de la escoria. En lugar de ello, los grumos esponjosos (o «palancones»), calientes pero todavía sólidos, de hierro mezclado con escorias se extraían del horno y después se martilleaban para separar el metal como hierro forjado puro. «Forjado», el participio del verbo «forjar», es un término apropiado: hace falta muchísimo trabajo agotador con un martillo y un yunque para refinar un palancón hasta obtener hierro puro. Su fundición y esta manera de trabajarlo surgieron en Anatolia hacia el año 1300 a. C.

Un desarrollo posterior fue construir hornos más altos y, desde el fondo de estos, bombear mediante fuelles una corriente de aire ascendente, para alcanzar temperaturas más elevadas capaces de fundir el hierro. Se trata del alto horno. Añadir caliza como un «fundente» ayuda a la escoria a fluir, lo que mejora la separación del hierro y elimina impurezas. El metal fundido puede entonces extraerse de la base del horno como arrabio o hierro fundido. Este tiene un

contenido elevado en carbono (alrededor del 3 por ciento), lo que lo vuelve fuerte pero quebradizo. Los primeros altos hornos los construyeron los chinos en el siglo V a. C., y en el primero d. C. fueron también los primeros en accionar los fuelles con ruedas hidráulicas.[31] Los altos hornos y el hierro fundido fueron adoptados por los árabes en el siglo XI, pero no llegaron a Europa hasta finales del XIV.[32]

Iniciada en momentos diferentes en regiones de todo el mundo, la Edad del Hierro transformó la sociedad. El bronce había sido relativamente caro, de modo que en gran medida era privativo de las élites dirigentes, o se usaba para equipar a los ejércitos que estas lanzaban unas contra otras. Las menas de hierro, por otra parte, son muy abundantes y ofrecen un metal de uso general para toda una serie de artefactos prácticos. Asimismo, las herramientas de hierro son mucho más duraderas y conservan mejor el borde afilado que las hechas de bronce. Esto era importante no solo para las armas y armaduras, sino también para los utensilios cotidianos. Las hachas de hierro supusieron una enorme diferencia a la hora de talar bosques para abrir nuevas zonas a la agricultura, y los arados de punta de hierro no solo aumentaron la productividad agrícola de la época, sino que permitieron a la humanidad transformar en campos tierras que antes eran incultivables. Ambas herramientas abrieron regiones totalmente nuevas donde asentarse.

En concreto, el desarrollo a partir de finales del siglo III d. C. del pesado arado de vertedera, con una hoja de hierro cortante en la parte delantera de la reja, hizo posible la agricultura productiva en los densos suelos del paisaje europeo al norte de los Alpes. En lugar de solo abrir un surco superficial, el pesado arado penetra en profundidad en el mantillo y después lo voltea mediante la vertedera curvada. El resultado es básicamente que se le da la vuelta a toda la capa superior del suelo, lo que contribuye a controlar las malas hierbas y a mezclar el abono, y los surcos también mejoran mucho el drenaje de los suelos arcillosos, propensos a anegarse.[33] Con esta innovación hecha de hierro, los densos

suelos arcillosos del norte de Europa se volvieron mucho más productivos que los arenosos que circundan el Mediterráneo. Así pues, con la ayuda del hacha y el arado de hierro, las llanuras onduladas del norte de Europa se transformaron gradualmente de bosques posteriores a la Edad de Hielo y prados anegados en una vasta extensión de campos en los que se cultivaban cereales.[34] Esto provocó a su vez un cambio fundamental en la distribución de la población y en la urbanización de Europa durante los siglos siguientes.[35]

Si las propiedades materiales del cobre mejoran al mezclarlo para obtener una aleación, lo mismo ocurre con el hierro. El acero es una aleación de este con una pequeña cantidad de carbono, usualmente el 1 por ciento o menos, y por lo tanto se sitúa a medio camino, en cuanto a contenido de carbono, entre el hierro forjado puro y el hierro fundido. Y, como el bronce, la aleación de acero es mucho más dura que el metal puro. Las propiedades exactas del acero pueden ajustarse modificando el contenido de carbono, desde el acero blando pero resistente bajo en carbono hasta el acero duro pero quebradizo alto en carbono. A lo largo de los siglos, los trabajadores del metal han desarrollado diversas técnicas para conseguir la cantidad de carbono deseada, calentando hierro forjado con carbón vegetal para que absorba un poco más de carbono o mezclando proporciones de hierro forjado y hierro fundido. Pero la obtención de acero de alta calidad era y sigue siendo un proceso laborioso, por lo que fue reservado para aplicaciones críticas, como el filo cortante de cuchillos y espadas o aquellas en que su flexibilidad era necesaria en componentes pequeños, como los muelles de los relojes.

Nuestra era actual de acero barato y producido en masa empezó en la década de 1850 con el desarrollo de una manera sencilla de eliminar carbono del arrabio. El proceso Bessemer consiste en mantener este último en una caldera alta y después inyectar aire para que ascienda a través del metal líquido. Esto quema el carbono y elimina otras impurezas, creando esencialmente hierro puro, de modo que se le pueden añadir cantidades de carbono precisas para producir cualquier tipo de acero que se requiera. Este proceso redujo el tiempo para

procesar cinco toneladas de acero de un día a un cuarto de hora aproximadamente,[36] lo que generó una aceleración de su producción y redujo su coste de manera espectacular. Así, la Revolución industrial tardía transformó la sociedad en un mundo mucho más metálico. Hoy en día, el acero es ubicuo en los utensilios y electrodomésticos del hogar, en las herramientas, la maquinaria, las vías de ferrocarril, los barcos y los automóviles. También lo hemos usado como el esqueleto estructural de nuestros edificios, para las barras de refuerzo del hormigón y el armazón de los rascacielos.

Así, si la Edad del Hierro revolucionó los asentamientos humanos, la agricultura y la guerra, nuestro mundo moderno ha sido construido con su aleación, el acero. Pero ¿de dónde procede este hierro?

El corazón de hierro de las estrellas

En último término, todo el hierro de la Tierra (desde el que hay en las rocas de la corteza hasta el de la roja hemoglobina que transporta oxígeno por nuestras venas) procede de las reacciones de fusión nuclear que tienen lugar en el núcleo de las estrellas. El universo creado por el Big Bang contenía principalmente el elemento más simple, el hidrógeno, con algo de helio y una cantidad minúscula de litio. Todos los demás elementos de nuestra tabla periódica fueron producidos por la fusión nuclear que tiene lugar en las estrellas: cocidos en su núcleo cuando este ardía o creados cuando estrellas gigantes explotaron al final de su vida.

El hierro es el elemento «mataestrellas». Cuando en el núcleo de las gigantes se ha acumulado suficiente «ceniza» de helio producida por la fusión del hidrógeno, esta reacciona para crear elementos más pesados como carbono, oxígeno, azufre, silicio y, finalmente, níquel y hierro. Este es el elemento más estable, y ya no puede liberarse más energía fusionándolo. Cuando la estrella gigante ya no puede producir la energía suficiente para mantener sus capas externas, colapsa sobre su propio núcleo, antes de explotar en un acontecimiento

potentísimo conocido como «supernova». Este estallido final de fusión crea muchos de los elementos más pesados de la tabla periódica, y dispersa todos estos átomos por el cosmos. Otros varios elementos clave son resultado de la colisión violenta de estrellas de neutrones, como el oro de un anillo de bodas, los metales de tierras raras de un teléfono inteligente, el plomo del techo de una iglesia y el uranio de una planta de energía nuclear.[37] De esta manera, no solo nuestro planeta, sino también las moléculas de nuestro cuerpo, están hechos de polvo de estrellas.[38]

La Tierra se formó a partir de un disco de polvo y gas que giraba alrededor del protosol hace unos 4.500 millones de años. Las motas de polvo se pegaron entre sí para construir granos, que se conglutinaron en grumos de roca cada vez mayores, y estos se agregaron con la gravedad para formar nuestro planeta. El calor de todos estos impactos fundió la Tierra primordial, y la mayor parte del denso hierro se hundió hasta el núcleo mismo, dejando una gruesa capa de manto rico en silicatos, que se enfrió lentamente y se solidificó para formar una delgada corteza. Otros muchos metales se disuelven con facilidad en el hierro (se los conoce como «siderófilos», «amantes del hierro»), de modo que también fueron barridos del manto terrestre y arrastrados hasta el núcleo cuando el hierro se hundió. Por consiguiente, los elementos siderófilos como el oro, la plata, el níquel y el tungsteno, así como el grupo de metales del platino, que comentaremos de inmediato, se hallan en pequeñas cantidades en las rocas de la corteza terrestre. El precioso oro que hemos codiciado a lo largo de la historia lo trajeron a la superficie de la Tierra impactos de asteroides después de que el planeta se hubiera diferenciado en su núcleo de hierro y su manto de silicato.[39] (51)

El corazón de hierro de nuestro mundo sirve también para generar el campo magnético de la Tierra. Corrientes turbulentas de hierro fundido en el núcleo exterior de nuestro planeta crean este campo al igual que una dinamo, algo que ha sido muy importante desde el siglo XI para la brújula de navegación, usada

primero por los marinos chinos y después por los islámicos y europeos (y por los animales migrantes que fueron capaces de sentir el campo magnético de la Tierra mucho antes que nosotros). Pero, lo que es todavía más trascendental, este capullo magnético ha actuado como un escudo deflector para desviar la corriente de partículas procedente del Sol (el llamado «viento solar») y así impedir que la atmósfera de la Tierra sea aventada por el espacio. Por tanto, la existencia de vida compleja en el planeta depende de este núcleo de hierro caliente; el hierro de nuestra sangre no solo nos vincula a las antiguas estrellas que lo crearon en su forja nuclear, sino también al escudo magnético que rodea a nuestro mundo y que protege la vida en la Tierra.

Sin embargo, no todo el hierro de la Tierra se hundió hasta el núcleo, pues sigue siendo el cuarto elemento más abundante en la corteza y supone por término medio el 5 por ciento del peso de todas las rocas. Pero, para que le sea útil a la humanidad, el hierro tuvo que concentrarse en ricas menas que puedan extraerse y fundirse, y esto nos lleva a un momento muy concreto de la historia de nuestro planeta.

Cuando el mundo se oxidó

Prácticamente todo el mineral de hierro extraído en el mundo entero a lo largo de la historia procede de un tipo de roca formada durante un periodo singular del desarrollo de la Tierra.

Las formaciones de hierro bandeado (BIF, por sus siglas en inglés), y los depósitos erosionados de ellas, conforman con mucho el mayor porcentaje del mineral de hierro que usamos. Cada formación puede tener cientos de kilómetros de longitud y varios cientos de metros de espesor, y las menas más ricas contienen más del 65 por ciento de hierro.[41] Tal como indica su nombre, tienen un característico aspecto rayado, y cada banda tiene entre un milímetro y varios centímetros de grosor. Estas capas están constituidas por minerales de

óxido de hierro (hematita y magnetita) que se alternan con sílex o esquisto.

Su antigüedad es casi inimaginable. La gran mayoría de las formaciones de hierro bandeado se sedimentaron en un periodo relativamente breve de deposición en todo el mundo hace 2.200-2.600 millones de años,[42] en la época en que en nuestro planeta se formaban los primeros continentes.(52) El hecho de que el mineral de hierro de todo el mundo proceda aproximadamente de la misma época de la historia de la Tierra indica que algo muy grave le estaba ocurriendo al planeta en aquel momento. Las BIF se depositaron sobre el fondo de los antiguos océanos, y sus bandas revelan condiciones fluctuantes en las aguas primordiales; el mineral se sedimentó como una llovizna suave de granos de minerales de hierro precipitados desde el agua al lecho oceánico, alternando con periodos de deposición de fango marino normal. Pero lo curioso es que en la actualidad este metal solo se disuelve en el agua en concentraciones absolutamente minúsculas. Así pues, ¿cómo se depositó todo este hierro desde los mares en un episodio prolífico hace unos 2.400 millones de años? ¿Qué era diferente entonces?

Si el lector pudiera viajar en el tiempo hasta la época de las formaciones de hierro bandeado, encontraría un mundo realmente extraño. El interior de la joven Tierra era todavía mucho más caliente que en la actualidad, y esto debía de producir un vulcanismo desenfrenado. El océano que se extendía por todo el planeta solo estaba interrumpido por arcos de islas volcánicas y continentes diminutos que habían empezado a emerger. La radiación ultravioleta procedente del Sol caía a plomo sobre una superficie estéril. Probablemente, los cielos se hallaban siempre cubiertos de nubes neblinosas de color amarillo pálido, y el aire estaba lleno de nitrógeno y dióxido de carbono. Y, más importante aún, no había oxígeno; el lector habría necesitado un traje espacial para caminar por su propio mundo.

En la actualidad, el oxígeno supone una quinta parte de cada bocanada de aire que respiramos, pero durante la primera mitad de su vida la Tierra careció en buena medida de oxígeno gas en su atmósfera y sus océanos. El de nuestro aire,

y el disuelto en el agua de mar, lo puso allí la vida. Algunos organismos son capaces de captar la energía de la luz solar para transformar el dióxido de carbono en moléculas orgánicas que constituyen las células, y durante el proceso descomponen el agua, H_2O, que libera el oxígeno como un gas de desecho. Esta alquimia biológica se conoce como «fotosíntesis», y capacita a la célula para que sea increíblemente autosuficiente y fabrique todo lo que necesita tan solo a partir de luz, dióxido de carbono y unos pocos nutrientes disueltos más.

Los tipos de células que desarrollaron esta capacidad de fotosintetizar y liberar oxígeno reciben el nombre de «cianobacterias».[44] Todos los seres vivos más complejos expuestos al sol (las diatomeas, las algas unicelulares y las pluricelulares, así como las hierbas, los arbustos y los árboles en tierra) heredaron esta capacidad a raíz de un acontecimiento evolutivo crucial hace aproximadamente 1.000 millones de años, cuando su antepasado unicelular incorporó cianobacterias en su interior. Y fueron estas minúsculas células primitivas, que pululaban por los mares primordiales y emitían oxígeno como gas de escape de su maquinaria fotosintética, las que finalmente oxigenaron todo el planeta. Los geólogos que estudian el cambio experimentado por las rocas antiguas pueden ver un indicador claro del primer aumento de los niveles de oxígeno hace 2.420 millones de años, conocido como el Gran Evento de Oxidación (GOE). Aunque solo supuso que los niveles de oxígeno subieron quizá un pequeño porcentaje respecto de los que hay en la actualidad,[45] todavía demasiado bajos para permitir respirar a un humano, tuvo profundas implicaciones para la química de la Tierra y el desarrollo de la vida. De hecho, el GOE es la revolución más importante acontecida en la historia del planeta.[46]

Poco después de la Gran Oxidación, hace unos 2.200-2.300 millones de años, parece que la Tierra entró en el episodio más largo, y probablemente el más severo, de glaciación de su historia. En aquel entonces, el Sol era un 25 por ciento más tenue que en la actualidad, y para que la Tierra estuviera lo bastante caliente como para que el agua de su superficie permaneciera líquida habría

necesitado un efecto invernadero sustancial para aislar el mundo. La atmósfera antigua contenía cantidades significativas de metano, que es un potente gas de efecto invernadero, pero el incremento de oxígeno debió de reaccionar con él y debió de eliminarlo, despojando al planeta de su manta calefactora. Las temperaturas cayeron en picado y causaron una glaciación a escala mundial, dando lugar a la llamada «Tierra bola de nieve», con una gruesa capa de hielo cubriendo casi toda su superficie.[47] El planeta permaneció en este estado blanqueado durante 10 millones de años,[48] hasta que la actividad volcánica en curso hubo acumulado suficiente dióxido de carbono en la atmósfera para que se iniciara el gran deshielo. Rescatar al planeta de estas glaciaciones profundas es uno de los principales beneficios del vulcanismo para la vida en la Tierra.(53)

Muchos microorganismos que vivían en la época del Gran Evento de Oxidación no pudieron hacer frente al oxígeno gas reactivo y fueron eliminados por esta contaminación tóxica; en efecto, fue un holocausto de oxígeno. Con el fin de sobrevivir en el nuevo orden mundial, tenían que evolucionar para perdurar ante la presencia de este gas tóxico (desarrollando maneras de explotar su reactividad para desplegar mayores cantidades de energía de su metabolismo, como hicieron nuestros antepasados celulares), o bien quedar restringidos a hábitats recónditos donde el oxígeno no penetra, como el fango del fondo del mar o a gran profundidad bajo tierra.(54)

Pero la vida multicelular más compleja, como los animales y las plantas, depende del oxígeno para sobrevivir, así como de una capa de ozono para proteger la superficie del planeta de la destructora radiación UV. Y así, aunque hubo un enorme número de organismos que resultaron envenenados por el reactivo oxígeno gas o que fueron relegados a refugios anóxicos, el Gran Evento de Oxidación dejó expedito el camino para toda la vida compleja en el planeta. Los niveles atmosféricos se acercaron finalmente a los de hoy en día, suficientes para la aparición de la vida animal, hace unos 600 millones de años.

Esto nos lleva de nuevo a las formaciones de hierro bandeado que explotamos en todo el mundo. El hierro oxidado apenas es soluble en el agua, y esto explica

por qué en los océanos bien oxigenados actuales es tan escaso. Pero la forma de hierro reducida se disuelve muy bien, de modo que en la Tierra primordial antes del Gran Evento de Oxidación los niveles de esta forma de hierro reducida y soluble eran elevados en los océanos, procedente de volcanes submarinos o lavados por los ríos de los continentes que se erosionaban. Aunque durante la Gran Oxidación las cianobacterias que proliferaban en los océanos oxigenaron las aguas superficiales, de manera lenta pero constante, las profundidades oceánicas permanecieron anóxicas y, por lo tanto, eran ricas en hierro disuelto, una riqueza alrededor de dos mil veces superior a la que encontramos en los mares actuales. Sin embargo, cada vez que el agua profunda ascendía hasta las plataformas marinas someras, se mezclaba con oxígeno y el hierro se oxidaba, de manera que ya no podía permanecer disuelto y se depositaba en el fondo del mar, creando las formaciones de hierro bandeado. Y de esta manera el planeta se oxidó.

Prácticamente todo el mineral de hierro que se extrae en la actualidad y que ha sido explotado a lo largo de la historia se creó como formaciones de hierro bandeado durante los 200 millones de años del Gran Evento de Oxidación de hace 2.420 millones de años. De esta manera, los cielos azules actuales, el aire vivificador que inhalamos y que llena nuestros pulmones, así como el hierro que ha proporcionado las herramientas de nuestras civilizaciones durante milenios, se hallan profundamente conectados. Y el oxígeno tiene otro beneficio: nos permite hacer uso del fuego.

Durante el 90 por ciento de su historia no hubo fuego en la Tierra. Aunque había erupciones volcánicas, no había suficiente oxígeno en la atmósfera para mantener la combustión.(55) Así, el aumento de este no solo permitió que la vida más compleja evolucionara en la Tierra, sino que también confirió a la humanidad el fuego como utensilio. Primero lo usamos para librarnos del frío nocturno y para mantener a raya a los depredadores, para cocinar comida y para desbrozar las tierras. Después, la humanidad aprendió a explotar el calor transformador del fuego: para cocer arcilla y fabricar objetos de cerámica dura o

ladrillos para la construcción, para hacer vidrio o para fundir metales y elaborar utensilios. En la actualidad, lo aprovechamos para generar electricidad e impulsar un amplio abanico de procesos industriales, y empleamos minúsculas explosiones de llamas en los cilindros del motor de nuestros automóviles. Hoy dependemos de manera tan absoluta del fuego como nuestros ancestros del Paleolítico, que se acurrucaban alrededor de una fogata; simplemente, lo hemos escondido entre bastidores, tras el proscenio del mundo moderno.

La tabla periódica en su bolsillo

En el mundo antiguo, las sociedades solo utilizaban un puñado de los diferentes metales, entre ellos el cobre y el cinc en los utensilios de bronce, el hierro en las herramientas de acero y en las armas, el plomo en la fontanería, y metales preciosos como el oro y la plata en la decoración, la joyería y las monedas. Estos metales siguen siendo importantes en el mundo moderno, y de hecho todavía vivimos en buena medida en la Edad del Hierro. Este, especialmente el mezclado en la aleación que es el acero, supone alrededor del 95 por ciento de todo el metal usado por la civilización industrializada actual. Otros metales siguen siendo cruciales, pero las aplicaciones a que los dedicamos han cambiado de manera sustancial. El cobre, por ejemplo, se utilizó primero como un componente básico de las aleaciones para los utensilios y las armas de la Edad del Bronce, pero su importancia y valor comercial disminuyeron con el desarrollo de la fundición del hierro y la disponibilidad de este metal superior. En los dos últimos siglos, sin embargo, el cobre ha resurgido como un metal relativamente abundante que conduce bien la corriente eléctrica y que proporciona el cableado de nuestro moderno mundo electrificado. Utilizamos el mismo metal de la Edad del Bronce, pero, como un reflejo del cambio tecnológico a lo largo de la historia, ahora explotamos propiedades diferentes.

También hemos descubierto nuevos metales y hemos aprendido cómo usarlos.

Uno de los más destacados es el aluminio. En realidad, se trata del metal más abundante en la corteza terrestre (alrededor del 8 por ciento en su conjunto), pero es endiabladamente difícil separarlo de sus menas rocosas. No fue hasta finales del siglo XIX cuando aprendimos cómo producirlo en masa a bajo precio, haciendo pasar electricidad a través de su mineral molido. Después se usó ampliamente como material de construcción y para envases alimentarios. En particular, el aluminio es muy ligero, de modo que vivió su auge con la expansión de la aviación a partir de la Primera Guerra Mundial. Pero ha sido en las últimas décadas cuando el número de metales que usamos en nuestra sociedad tecnológica ha aumentado vertiginosamente.

¿Cuántos tipos diferentes de metales cree el lector que tiene en su bolsillo ahora mismo? ¿Unos cuantos? ¿Una docena? Quizá le sorprenda saber que, hoy en día, se emplean del orden de sesenta metales diferentes en un único dispositivo electrónico portátil. Entre estos se cuentan los básicos como el cobre, el níquel y el estaño; metales para fines especiales como el cobalto, el indio y el antimonio, y los preciosos oro, plata y paladio.[50] Cada uno de ellos es explotado por sus propiedades electrónicas particulares, o para los imanes minúsculos y potentes usados en el altavoz y en el motor de vibración. En nuestro teléfono inteligente también tienen cabida toda una serie de elementos no metálicos, como carbono, hidrógeno y oxígeno en los plásticos, bromo como retardante de llama y silicio para las obleas de los microchips. De los 83 elementos estables (no radiactivos) que existen, unos setenta son utilizados en la fabricación de un dispositivo de consumo cotidiano como un teléfono inteligente[51] (lo cual significa que llevamos del orden del 85 por ciento de todo el terreno disponible de la tabla periódica en nuestro bolsillo).

Y no es solo la electrónica la que emplea semejante cantidad de metales. Las aleaciones de alto rendimiento usadas en las turbinas de una central energética o del motor de un avión de reacción contienen más de una docena, y los catalizadores que aceleran las reacciones en la industria química (incluidos los

que producen los medicamentos modernos) emplean más de setenta diferentes. Pero la mayoría de nosotros ni siquiera hemos oído hablar de muchos de estos metales fundamentales, elementos con nombres exóticos tales como tántalo, itrio y disprosio.

Este incremento de la diversidad de metales que hemos acabado explotando ha sido pasmoso. Mientras que en la actualidad los microchips contienen alrededor de sesenta diferentes, en fecha tan reciente como la década de 1990 este número era de solo una veintena.[52] Tomemos el indio, por ejemplo. Este metal fue descubierto en 1863, y en la Segunda Guerra Mundial se usó para revestir los rodamientos de los motores de aviación para protegerlos de la corrosión. Pero el indio no fue utilizado de manera generalizada hasta la década de 1990, cuando se añadió una delgada película de óxido de indio-estaño a nuestras pantallas, explotando así una rara combinación de propiedades: el óxido metálico es a la vez transparente y conductor de la electricidad. En la actualidad el indio se usa en todo, desde los televisores de pantalla plana hasta los ordenadores portátiles, y en particular en las pantallas táctiles de los móviles y las tabletas.[53] De forma parecida, el galio fue descubierto pocos años después que el indio, pero tampoco se le encontró ninguna aplicación general hasta la era de la electrónica; hoy en día se emplea en circuitos integrados, paneles solares, LED azules y diodos láser para discos de Blu-ray.

La mayoría de estos metales de resonancias exóticas pertenecen a uno de dos grupos, los metales de tierras raras (MTR) y los metales del grupo del platino (MGP). En cada uno de estos dos conjuntos, los metales son muy parecidos desde el punto de vista químico, lo cual significa que se han concentrado en los mismos minerales y que son extraídos al mismo tiempo mediante nuestros procesos de separación. Estas dos docenas, aproximadamente, de metales definen en verdad nuestra era tecnológica actual; más del 80 por ciento de su explotación ha tenido lugar únicamente desde 1980.[54] Y si son los ingredientes clave de nuestra era tecnológica actual, serán todavía más cruciales en el futuro, cuando realicemos la transición y dejemos atrás la actual economía

del carbono. Nos proporcionarán los imanes compactos pero potentes necesarios en los generadores de las turbinas eólicas y en los motores de los vehículos eléctricos, así como en las baterías recargables de alta capacidad.

Los diecisiete metales de tierras raras están constituidos por la serie de elementos «lantánidos» de la sexta fila de la tabla periódica, así como por los elementos, químicamente similares, escandio e itrio. Con todo, su nombre es poco apropiado, pues en realidad no son tan escasos en las rocas del planeta (a excepción del promecio, radiactivo, del que no habrá más de medio kilogramo en toda la corteza terrestre).[55] El lantano, por ejemplo, es casi tan abundante como el cobre y el níquel, y de hecho lo es tres veces más que el plomo. Y todos los MTR son al menos doscientas veces más comunes que el oro.

De modo que el problema no es tanto su abundancia general en la corteza, sino la dificultad a la hora de extraerlos. El hecho de que los metales de tierras raras sean químicamente parecidos y, por lo tanto, se encuentren en el mismo tipo de minerales significa que también son difíciles de aislar entre sí como metales puros. Todavía más fastidiosas son las máximas concentraciones a las que se encuentran dentro de las rocas. Otros muchos metales se concentran, en virtud de procesos geológicos particulares, en minerales ricos, como las formaciones de hierro bandeado o las gruesas vetas de plata que recorren el Cerro Rico, del que hablaremos en el capítulo 8. Pero la química de los MTR hace que no tiendan a enriquecerse en menas de alta calidad, sino que, en cambio, suelen dispersarse de un modo tenue en concentraciones bajas por las rocas. Por regla general, pues, extraerlos específicamente no es factible desde el punto de vista económico —hacerlo cuesta más que el valor que tienen—, y la disponibilidad geográfica de los metales de tierras raras que pueden ser explotados de manera rentable es limitada. Hoy en día son extraídos en pequeñas cantidades en India y Sudáfrica, pero a partir de la década de 1990 la inmensa mayoría de la producción mundial se ha concentrado en China.

Los seis metales del grupo del platino (rodio, rutenio, paladio, osmio, iridio y platino) se hallan agrupados en medio de la tabla periódica y, como los MTR,

son químicamente similares, lo que, de nuevo, significa que tienden a encontrarse juntos en los mismos yacimientos minerales. Pero, a diferencia de sus primos de las tierras raras, los del grupo del platino son metales preciosos genuinos. Figuran entre los elementos estables más raros de la corteza terrestre; algunos son millones de veces más escasos que el cobre. El platino es uno de los metales más comunes de este grupo, pero la producción mundial es de solo unos pocos cientos de toneladas anuales, en comparación con los 58 millones de toneladas de aluminio o los más de 1.000 millones de toneladas de arrabio. El iridio es particularmente raro y está presente en la corteza terrestre solo en torno a una parte por mil millones; por término medio, mil toneladas de roca de la corteza solo contienen un gramo de iridio. Como los otros metales del grupo del platino (y el hierro), el iridio es un elemento siderófilo y, en consecuencia, prácticamente todo el que estaba presente en la Tierra primordial fue arrastrado a gran profundidad cuando el hierro se hundió para formar el núcleo de nuestro planeta.(56)

A los MGP se los conoce también como «metales nobles», pues son resistentes al ataque químico y a la corrosión, incluso a temperaturas elevadas. Al ser a la vez escaso y arreactivo, el platino es un material atractivo para la joyería, y alrededor de un tercio de la producción anual de este metal precioso la destinamos a adornarnos el cuerpo.(57) Pero, a diferencia de otros metales preciosos como el oro (que hoy en día es usado sobre todo en joyería o como reserva monetaria, y del que solo alrededor de un 10 por ciento es destinado a la industria, principalmente como contactos eléctricos), los metales del grupo del platino se emplean en un amplio abanico de aplicaciones prácticas; son usados en todo, desde turbomotores hasta bujías y desde circuitos y discos duros de ordenador hasta contactos en marcapasos.[57]

La mayor parte del platino es usado en los convertidores catalíticos de los escapes de los vehículos para reducir las emisiones nocivas y como catalizadores en la industria química. Estos se emplean para refinar petróleo y crear productos farmacéuticos, antibióticos y vitaminas, así como en la producción de plásticos y

caucho sintético. Sin embargo, quizá el uso más importante se dé en la agricultura, en la que sirve como catalizador en el proceso químico que produce fertilizantes artificiales, una actividad que en definitiva extrae nitrógeno de la atmósfera.[58] Se estima que hoy en día alrededor de la mitad de la población humana se alimenta gracias a la ayuda de este metal.[59]

La extrema rareza de los metales del grupo del platino conlleva que solo pueden extraerse de rocas en las que estos elementos aparecen en concentraciones sustancialmente más elevadas que las existentes por término medio en la corteza terrestre. Por lo tanto, están limitados a lugares que han experimentado procesos geológicos raros. El grupo del platino puede enriquecerse dentro de determinadas menas de cobre y níquel, de modo que se obtiene cierto volumen de MGP como subproducto de la extracción de estos metales de gran importancia industrial. Las fuentes incluyen minas cerca de Norilsk, en Rusia, donde se están excavando yacimientos formados por la erupción de los Traps de Siberia al final del periodo Pérmico, hace 250 millones de años (véanse las pp. 158-160),[60] y la cuenca canadiense de Sudbury, que es uno de los cráteres de impacto más grandes y más antiguos de los que tenemos constancia. El cráter tenía originalmente unos 250 kilómetros de diámetro y se formó hace 1.850 millones de años, cuando un asteroide de más de diez kilómetros de diámetro colisionó contra el planeta. Este colosal agujero en el suelo se llenó de magma que contenía cobre, níquel, oro y metales del grupo del platino, que después cristalizaron en ricas menas.[61] Pero, con mucho, la mayor fuente de estos últimos es una única región de Sudáfrica.[62] Alrededor del 95 por ciento de las reservas mundiales de MGP se encuentran en lo que se conoce como complejo Bushveld.[63]

Esta estructura geológica es uno de los puntos más ricos en metales del mundo. Se trata de una masa de roca ígnea en forma de plato, de entre 450 y 350 kilómetros de tamaño y que en algunos lugares tiene hasta 9 kilómetros de espesor. Se formó hace unos 2.000 millones de años (no mucho después de que

las formaciones de hierro bandeado se depositaran en los océanos de todo el mundo), cuando una enorme masa de magma penetró hasta unos pocos kilómetros de la superficie y después se enfrió lentamente bajo tierra. A medida que el magma se enfriaba, diferentes minerales se separaron y se solidificaron, como un enorme pastel de capas. Una de dichas capas se enriqueció en metales del grupo del platino hasta un nivel de unas diez partes por millón, sustancialmente más elevado que la mayoría de otras rocas, pero que todavía ofrecía solo unos cinco gramos de platino y paladio por cada tonelada extraída.[64] Aún no está del todo claro qué condiciones geológicas insólitas actuaron para concentrar estos raros MGP unas mil veces más, pero 2.000 millones de años después es de esta delgada capa de la que ahora extraemos la inmensa mayoría de los metales del grupo del platino que usamos.[65]

Históricamente, los metales han sido usados por su solidez mecánica para utensilios y armas. En la actualidad todavía empleamos una amplia gama de ellos en la construcción, y las aleaciones de alto rendimiento sirven en la generación de energía, el transporte y la industria. Pero también hemos acabado por usar una variedad asombrosa de ellos por sus propiedades catalíticas a la hora de acelerar reacciones químicas (que, como hemos visto, incluyen ayudar a alimentar a la población mundial) o por sus características electrónicas para aparatos modernos. Comparados con los metales de la Antigüedad, como el cobre o el hierro, muchos de estos elementos que hacen funcionar el mundo moderno son muy difíciles de encontrar en cantidades apreciables, y la Tierra solo nos los ha proporcionado en unos pocos puntos con condiciones geológicas insólitas. En realidad, a varios de los metales que hemos presentado en este apartado se los considera ahora «elementos en peligro» de la tabla periódica.

Elementos en peligro

Una de las mayores preocupaciones para seguir cubriendo la demanda y el

apetito de nuestro mundo industrializado por los recursos es la disponibilidad futura de varios de los metales tecnológicos más importantes. Los elementos en peligro incluyen algunos de los MGP, varios MRE y el litio, el metal más ligero, usado en baterías y pilas recargables. El indio y el galio también figuran entre aquellos que se considera que acabarán estando muy amenazados en los próximos años.[66](58)

El problema no es que estos elementos vayan a desaparecer por completo, sino que la demanda creciente con finalidades tecnológicas puede superar con mucho su suministro, que es limitado. Tomemos, por ejemplo, los metales de las tierras raras. El hecho de que el mundo se haya vuelto tan dependiente de la producción china de MTR (que en la actualidad es del orden del 95 por ciento del total) suscita mucha preocupación con vistas a asegurar que su suministro continúe satisfaciendo la demanda creciente, algo que se ve agravado por que en muchos casos no hay un metal alternativo conocido que desempeñe exactamente la misma función. Los precios de los MTR se dispararon en 2010, cuando China anunció un recorte del 40 por ciento de su cuota de exportación aludiendo a su demanda interna y a consideraciones ambientales. Aunque las remesas se han normalizado, sigue habiendo una gran preocupación acerca del suministro futuro de estos elementos tan fundamentales para nuestras tecnologías.[67]

Como es normal cuando las restricciones del suministro hacen que los precios suban, ello creó un incentivo económico para explotar otras fuentes, y en Australia, Brasil y Estados Unidos se están abriendo otras minas e instalaciones de refino. Aun así, incluso cuando estas sean totalmente operativas, China seguirá dominando la producción de los MTR pesados, que son las más escasas y valiosas de estas tierras raras.[68]

Sin embargo, se está considerando otra solución, mucho más sorprendente. Algunos de los metales más escasos que se usan en la electrónica moderna, como el indio de la pantalla táctil de nuestros móviles, son empleados en películas delgadísimas o mezclados en cantidades mínimas con otros metales, lo que hace que sean difíciles de reciclar al final de la vida útil del dispositivo.

Otros muchos, no obstante, pueden recuperarse con un poco de esfuerzo. Después de décadas de haber desechado simplemente los aparatos obsoletos, muchos vertederos pueden contener en la actualidad verdaderos filones de estos metales valiosos, y esto plantea una posibilidad fascinante: la de explotar estos depósitos, recuperar nuestra basura por el tesoro oculto que contiene. Un banco de pruebas en un vertedero situado a cien kilómetros al este de Bruselas, por ejemplo, se propone recuperar materiales de construcción y convertir desperdicios en combustible, pero también separar y recuperar metales valiosos. Asimismo, la explotación de basureros podría empezar en breve en Gran Bretaña; tras ser analizados, resultó que cuatro de ellos contenían cantidades importantes de aluminio, cobre y litio.[69] Sin embargo, las oportunidades para los prospectores son particularmente buenas en los vertederos japoneses de productos de alta tecnología. Se ha calculado que la basura que albergan contiene tres veces el consumo mundial anual de oro, plata e indio, y quizá hasta seis veces el de platino. De hecho, estas menas artificiales constituidas por teléfonos móviles descartados pueden contener treinta veces la concentración de oro de una mina de oro real.[70](59)

Este capítulo nos ha conducido desde la Edad del Bronce hasta el mundo moderno y sus metales de alta tecnología, y hemos visto como determinadas condiciones geológicas de nuestro dinámico planeta nos proporcionaron materias primas para los utensilios de las civilizaciones. Pero los metales preciosos como el oro y la plata han servido también, a lo largo de la historia, como un medio de intercambio; fueron acuñados en monedas para facilitar el comercio y los negocios entre culturas dispares. Una de las redes comerciales terrestres más antiguas se extendía por Eurasia y conectaba China y el Mediterráneo: la Ruta de la Seda.

7

Rutas de la Seda y pueblos de las estepas

El continente de Eurasia, que se extiende a lo largo de 12.000 kilómetros desde el océano Atlántico hasta el Pacífico, contiene alrededor de un tercio de la superficie terrestre de nuestro planeta, y ha albergado muchas de las civilizaciones más refinadas de la historia. Fue en Eurasia donde diferentes culturas desarrollaron el transporte sobre ruedas, la fundición del hierro, las comunicaciones comerciales transoceánicas y la industrialización. Dos aspectos han definido el curso de la historia a lo largo y ancho de esta vasta masa continental: las rutas comerciales de larga distancia que cruzaban de punta a punta el continente y los pueblos nómadas que repetidamente desbordaban el interior continental para desafiar a las civilizaciones que crecían en sus márgenes. Han sido las características planetarias fundamentales de las bandas climáticas, y los ambientes que hay en ellas, las que han creado estas peculiaridades.

El camino transversal

El comercio terrestre a larga distancia a través de Eurasia central estaba bien establecido ya en el primer milenio a. C. para satisfacer la demanda china de jade procedente de Asia central y el deseo mesopotámico de lapislázuli procedente de Afganistán.[1] Pero este comercio a larga distancia se intensificó de forma espectacular a partir del siglo I d. C. Por entonces habían surgido dos

grandes potencias en ambos extremos del amplio continente euroasiático: la China Han en Oriente y el Imperio romano en Occidente.

En China la civilización había empezado a lo largo de las riberas del río Wei y del curso inferior del río Amarillo,[2] antes de extenderse más al sur hasta el Yangtsé. Esta llanura entre los grandes ríos Amarillo y Yangtsé forma el corazón de China.[3] En el norte, más seco, se cultivaban trigo y mijo, y arroz en la zona climática más húmeda del sur, en la que se disfrutaban de dos cosechas al año.[4] Mientras que los campos de Egipto se rejuvenecían anualmente por la inundación del Nilo, los granjeros chinos habían recibido su legado de suelos fértiles como un depósito de un solo pago. Las capas de suelo de loess se formaron a lo largo de los últimos 2,6 millones de años de edades de hielo recurrentes, tanto por el polvo que dejaban los glaciares en retirada como por el de las regiones desérticas, que era aventado por el viento.[5] Las acumulaciones de este suelo fértil pueden alcanzar los cien metros de espesor en algunos lugares, y forman mesetas impresionantes, pero también se erosionaba y era depositado por los ríos en las llanuras aluviales.[6] El suelo de loess es rico en minerales, es poroso y tiene un color beige distintivo (de hecho, el río Amarillo recibe este nombre por los sedimentos que transporta).(60)

Este núcleo agrícola de la China moderna fue unificado en el año 221 a. C., tras 250 años de guerra, por la victoriosa dinastía Qin (que dio nombre al territorio). Al igual que en Egipto, China pudo alcanzar esta unificación política temprana y duradera, y contar con protección ante las amenazas externas, gracias a sus fronteras naturales:[8] la costa del Pacífico al este, las inhóspitas tierras altas de la meseta del Tíbet y el Himalaya al oeste, y densas junglas al sur. El principal punto débil era la frontera septentrional, que no estaba marca da por una característica topográfica evidente como una cordillera, sino por una suave gradación ecológica desde las fértiles llanuras agrícolas hasta el desierto de Gobi y después las praderas áridas de Asia central. Alrededor del año 100 d. C., bajo la dinastía Han, el Imperio chino se había expandido hacia el norte, hasta el desierto de Gobi y la península de Corea, y también lo había hecho hacia el

oeste, a lo largo de un largo brazo que seguía los contornos del paisaje a través del corredor de Gansu, provisto de una ristra de oasis entre la elevada meseta del Tíbet y el desierto de Gobi, hasta alcanzar la cuenca de Tarim, en la que se encuentra el desierto de Taklamakán, con el objetivo de proteger sus rutas comerciales a través de Asia central.

La expansión del Imperio romano también estuvo definida por las fronteras naturales. En el año 117 d. C., cuando alcanzó su máxima extensión, Roma había pasado de ser un pueblecito a medio camino de la península Itálica a convertirse en un vasto imperio que abarcaba alrededor de la quinta parte de la población mundial de la época. En este momento de apogeo, el Imperio romano rodeaba por completo el Mediterráneo (o *Mare Nostrum*, «nuestro mar», como se le llamaba) y sus fronteras seguían los rasgos del paisaje. En el oeste, se estiraba hasta la costa atlántica de la península Ibérica y la Galia (Francia), y en el norte hasta la actual Gran Bretaña, barrida por la llovizna. Sus límites septentrionales correspondían a las riberas de los ríos Rin y Danubio, que serpentean a través de las llanuras europeas. La frontera seguía las montañas de los Cárpatos hasta las costas del mar Negro, y después a lo largo de la línea del Cáucaso. El imperio alcanzaba Mesopotamia y el litoral de Palestina en el flanco sur, se extendía a lo largo del Nilo y, finalmente, seguía la costa de África del Norte hasta que la tierra daba paso al inhóspito polvo del desierto.(61)

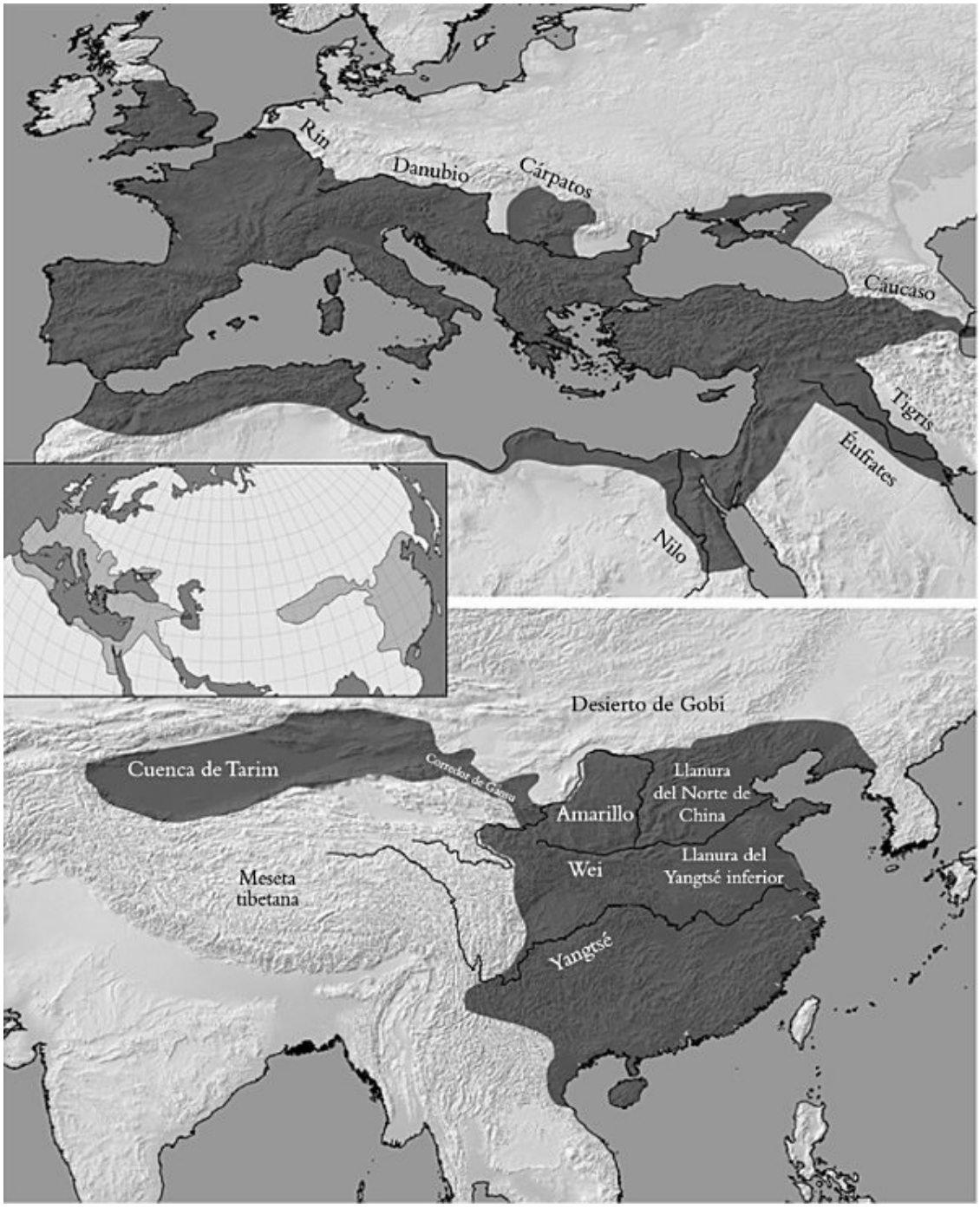


FIGURA 16. Los límites del Imperio romano (*arriba*) y del Imperio chino Han (*abajo*) en el siglo II d. C. estaban definidos por accidentes naturales.

A principios del siglo II d. C., los imperios romano y Han compartían muchas características. Ambos tenían más o menos la misma población, unos 50 millones de habitantes, y ocupaban aproximadamente la misma superficie,

alrededor de 4-5 millones de kilómetros cuadrados. El Imperio romano estaba asentado en las riberas de su mar interior, el Mediterráneo, que facilitaba el transporte y el comercio interior, mientras que la parte central de China se extendía por llanuras irrigadas por los grandes ríos Amarillo y Yangtsé. Roma construyó carreteras para el transporte terrestre, China más canales, y ambas civilizaciones erigieron murallas fortificadas para mantener a raya a los bárbaros. [10]

En este momento de su máxima extensión, los territorios combinados de los imperios romano y Han abarcaban tres cuartas partes de la anchura total del continente euroasiático, entre el océano Atlántico y el mar Oriental de China. Y los unía el comercio de una mercancía preciosa, la seda.

China la había estado usando para compensar a la agresiva tribu xiongnu y mantenerla más allá de sus fronteras septentrionales o para comprar sus caballos, [11] y ya había vendido seda a Persia. Pero entonces encontró un mercado nuevo y entusiasta en la distante Roma, donde las élites valoraban este precioso tejido de Oriente.[12] La seda china alcanzó por primera vez el Mediterráneo oriental mediante caravanas terrestres,[13] pero también se comercializaba a lo largo del pasaje marítimo que hemos visto en el capítulo 4: cruzaba en barco el océano Índico, remontaba el mar Rojo, recorría el desierto en camello hasta el Nilo y después llegaba en barca a Alejandría.[14](62)

El comercio a través de este eje romano-Han alcanzó su apogeo a principios del siglo II d. C., antes del desplome de la dinastía Han en el 220 d. C. y de la lenta decadencia del Imperio romano. Pero los negocios entre Oriente y Occidente continuaron a lo largo de los siglos. Actualmente conocemos este comercio a gran distancia entre los confines de Eurasia como la Ruta de la Seda. Pero el término es poco apropiado. Nunca hubo una sola ruta, sino más bien una extensa red de rutas que conectaban ciudades, pueblos en oasis y enclaves mercantiles intermedios; toda una red de transporte y comercio extendida por Asia central. Y aunque solemos imaginar la Ruta de la Seda como una conexión

transcontinental entre sus estaciones terminales en China y el Mediterráneo, el comercio entre estas paradas era igual de crucial, con las rutas que se extendían hacia el norte de India y hacia Arabia.

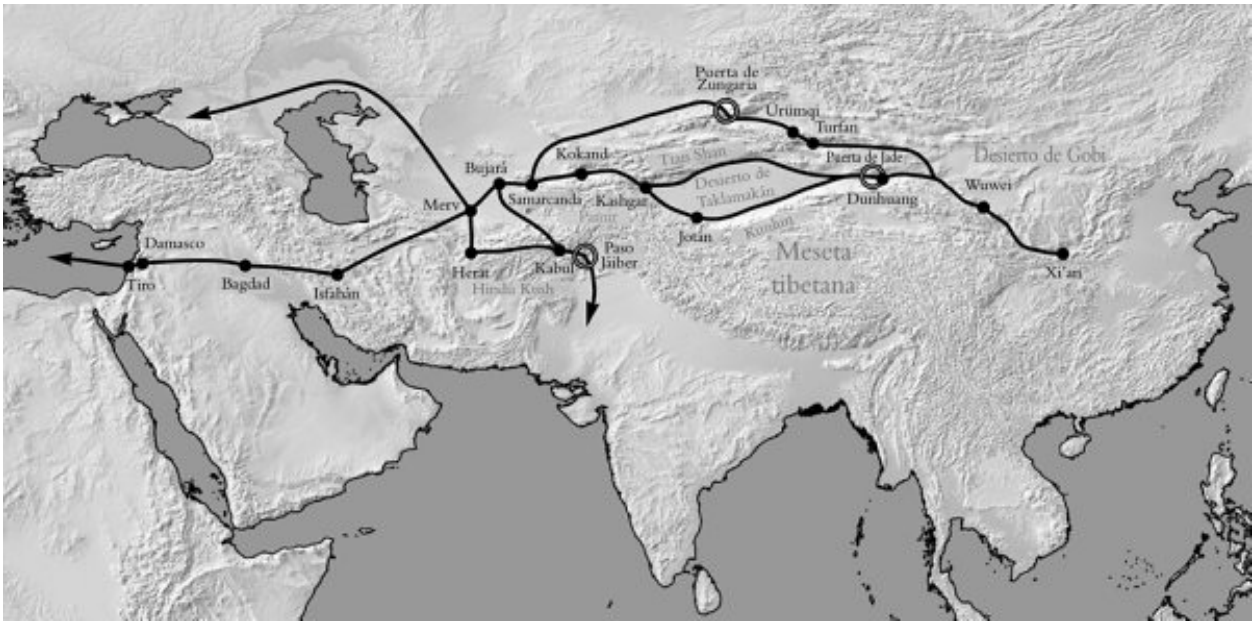


FIGURA 17. Las principales rutas terrestres y estaciones comerciales de la Ruta de la Seda en Eurasia.

La historia de la Ruta de la Seda ilustra la medida extraordinaria en que la disposición territorial de nuestro mundo ha determinado y dirigido nuestros movimientos, nuestros estilos de vida y nuestro comercio. Desde las llanuras septentrionales de China, la Ruta de la Seda atravesaba la Puerta de Jade de la Gran Muralla, que señala la entrada en el corredor de Gansu. Este paso de mil kilómetros de longitud recorría desde la elevada meseta del Tíbet al sur hasta el desierto de Gobi al norte, y conducía hasta el oasis de Dunhuang. Esta ciudad estaba situada directamente sobre el borde de la cuenca de Tarim, en una encrucijada previa al riguroso desierto de Taklamakán, ubicado en su depresión. Una bifurcación de la Ruta de la Seda se dirigía entonces al norte a lo largo de los pies de la cordillera de Tian Shan, mientras que el otro pasaje se ciñe al borde meridional del desierto que conecta con la meseta del Tíbet. Ambas rutas convergían de nuevo en Kashgar, y después la carretera recorría pasos de

montaña a través de las Tian Shan al oeste o de las montañas del Pamir al sur. Una tercera ruta cruzaba Ürümqi y las Tian Shan septentrionales, utilizando el valle de la Puerta de Zungaria para atravesar las montañas.

Tras salvar el desierto de Taklamakán y la cordillera de Tian Shan, la Ruta de la Seda pasaba por valles y después recorría los desiertos de Asia central (a través de los modernos Uzbekistán, Turkmenistán y Afganistán), conectando oasis y estaciones comerciales como Samarcanda, Bujará, Merv y Hera¯t. Una rama meridional de la red de caravanas se dirigía al sur hasta Kabul, desde allí serpenteaba por el paso Jáiber sobre las montañas del Hindú Kush del Himalaya occidental, y luego descendía al valle del Indo.[18] Continuando hacia el oeste, la Ruta de la Seda pasaba al sur del mar Caspio a través de Persia, conectando grandes estaciones comerciales como Bagdad e Isfahán, y después seguía hasta Damasco y los puertos del Mediterráneo oriental; o bien se dirigía al norte hasta el mar Negro, desde donde los artículos eran transportados a Europa en barco.

Los nodos exactos de esta red transasiática variaron a lo largo de la historia, con imperios consecutivos que conducían el comercio a través de sus ciudades preferidas, pero esta descripción general nos proporciona una buena idea de la enorme y vasta red de lo que hemos convenido en llamar la «Ruta de la Seda». Y buena parte de esta gran red de comunicaciones entre Oriente y Occidente a través de Asia transitaba por una banda climática concreta, el desierto.

El ambiente particular de la Ruta de la Seda venía dictado por movimientos invisibles y a gran altitud de la atmósfera que los mercaderes tenían sobre sus cabezas. Alrededor del ecuador, donde la evaporación impulsada por el sol y el aire que se eleva provoca mucha pluviosidad, encontramos las densas pluviselvas tropicales de nuestro planeta, que se extienden por la Amazonia, las islas de las Indias Orientales y el África central y occidental. (Tal como hemos visto en el capítulo 1, la pluviselva original de África oriental fue sustituida por la sabana seca debido al solevamiento tectónico del sistema del Gran Rift.) Pero, para cuando este aire se ha desplazado a gran altitud y ha vuelto a bajar a la superficie, alrededor de los 30º al norte y al sur del ecuador, se ha vuelto muy

seco, y allí crea las regiones más áridas del planeta. En el hemisferio sur, esta banda seca incluye el Gran Desierto Arenoso de Australia, el Kalahari en el África austral y el desierto Patagónico en Sudamérica. En la banda que es la imagen especular, la que se extiende por el hemisferio norte, se encuentran los desiertos de Mojave y de Sonora en América, el Sáhara, la península Arábiga y el desierto de Thar en el noroeste de India.

Sin embargo, el patrón es algo más complejo en el Sudeste Asiático. Allí, la banda de desiertos se ve alterada por el sistema de monzones y su pluviosidad estacional. Veremos en el capítulo 8 como la meseta del Tíbet y el Himalaya actúan para reforzar los monzones sobre India, pero estas montañas elevadas, y otras cordilleras menores como las del Pamir, Kunlun y Tian Shan, actúan también para impedir que el aire cargado de humedad procedente de los océanos Índico y Pacífico penetre en Asia central. Muchos de los desiertos, como el de Gobi y el de Taklamakán, que la Ruta de la Seda tenía que salvar son creados por este efecto de sombra de la lluvia, y de resultas de ello la banda desértica en Asia se extiende mucho más allá del ecuador que en los demás continentes. Aunque algunos de estos desiertos están cubiertos de dunas de arena móviles (el de Taklamakán es por su tamaño el segundo desierto del mundo con dunas movedizas después del Rub al-Jali, que ocupa la mayor parte de la península Arábiga meridional), muchos tienen una superficie dura, cubierta de guijarros, que es fácilmente transitable si se dispone de agua suficiente.

Así, el enorme solevamiento tectónico que tuvo lugar a lo largo de los últimos 40-50 millones de años no solo dio lugar al amplio arco del Himalaya, sino que también formó los desiertos que se encuentran detrás de la cordillera. Y fueron estas extensiones áridas y estas cordilleras los que definieron el paisaje a través del cual serpenteaban las rutas de la seda. Allí un animal estaba adaptado de manera única para moverse a través de esta banda de clima árido y facilitar el comercio entre Oriente y Occidente: el camello.

Tal como hemos visto en el capítulo 3, este rumiante evolucionó en Norteamérica y migró a través del puente continental de Bering durante una edad

de hielo que tuvo lugar hace varios millones de años. Aunque se extinguió en su lugar de origen, en el Viejo Mundo se desarrollaron dos variedades: el camello bactriano, de dos jorobas, en Asia (domesticado alrededor de 3000 a. C.)[19] y el dromedario, de una sola joroba, en los desiertos más cálidos de África (domesticado hacia el segundo milenio a. C.).[20] La capacidad de este animal de cargar con mucho más peso durante más tiempo antes de necesitar descansar, y el hecho de requerir mucha menos agua, lo hizo muy superior al caballo o al asno para el transporte a través de estas regiones áridas.

Al contrario de lo que la gente cree, los camellos no almacenan agua en la joroba, que en realidad es un depósito de grasa corporal. En lugar de distribuirla por todo el cuerpo en una capa aislante, como hacen muchos mamíferos, los camellos emplean la joroba como reserva de grasa, que proporciona energía al tiempo que permite que el animal permanezca fresco. Estos rumiantes están adaptados de manera única a la supervivencia en el desierto. Después de una o dos semanas de caminar por un paisaje árido, pueden haber perdido casi un tercio del agua del cuerpo sin que ello les afecte;[21] el animal puede tolerar una deshidratación tan extrema sin que su sangre se vuelva peligrosamente espesa. Los riñones e intestinos de los camellos son capaces de producir orina muy concentrada y heces tan secas que pueden utilizarse como combustible para una fogata; también logran captar la humedad que de otro modo se perdería al respirar,[22] al condensarse el agua en su cavidad nasal como las gotas de un aparato de aire acondicionado. Y los pies almohadillados del animal le permiten atravesar terrenos tan diversos como arenas del desierto, barrizales o paisajes cubiertos de piedras.[23]

Los camellos fueron esenciales para el comercio de incienso que se inició hace unos 4.000 años. Aunque Arabia se encuentra dentro de la banda de desiertos de la Tierra, en el sudoeste de la península hay montañas que captan suficiente lluvia de los monzones estivales para crear una inusual mancha de vegetación. En ellas crecen pequeños árboles arbustivos de los que puede extraerse incienso y mirra. Puesto que se pueden cosechar mejor en primavera y

otoño, su ciclo de crecimiento no está sincronizado con los vientos monzónicos estacionales, que facilitan el transporte marítimo remontando el mar Rojo hasta Egipto o en dirección a India, de modo que el viaje por tierra en camello era mucho más adecuado. Las caravanas que transportaban incienso bordeaban la costa del mar Rojo a través del desierto Arábigo y después cruzaban el Sinaí hasta Egipto y el Mediterráneo, o bien se dirigían hacia el este, a Mesopotamia.[24]

En África del Norte, las caravanas de camellos empezaron a cruzar el Sáhara aproximadamente a partir del año 300 d. C.,[25] transportando oro de Sudán hasta el Mediterráneo. A su vuelta, los mercaderes portaban sal común extraída de debajo de las arenas (que habían depositado lagos que desaparecieron cuando el Sáhara se desecó) hacia el sur, hasta la ciudad comercial de Tombuctú, donde era cargada en canoas y transportada siguiendo los ríos hasta el África profunda. A principios del siglo XIII había surgido el Imperio de Mali, alimentado por el cinturón de suelo fértil a lo largo del río Níger y sus afluentes y por la excavación de ricos campos auríferos, y Tombuctú se convirtió entonces en una ciudad regia.[26] El comercio de sal a cambio de oro persistió durante siglos, y encontrar el origen del metal precioso fue una de las principales motivaciones de los marinos portugueses que exploraron la costa de África occidental a principios del siglo XV (tema al que volveremos en el capítulo 8).

Los camellos fueron también básicos para que la Ruta de la Seda atravesara la zona de latitud árida de Asia. También allí dichos animales estaban perfectamente adaptados para atravesar paisajes muy diversos; sus cascos acolchados les permitían avanzar con firmeza sobre el terreno cubierto de piedras y eran capaces de tolerar los extremos climáticos entre los desiertos y los pasos en las montañas elevadas.[27] Puesto que un único camello de carga podía acarrear un peso de más de doscientos kilos y las caravanas solían estar formadas por varios miles de animales, su cargamento total podía equipararse al de un gran velero mercante.[28]

Aunque la dura travesía por tierra suponía que en general eran productos de elevado valor los que eran transportados a lo largo de la red comercial euroasiática, la seda no era la única mercancía.(63) Especias tales como pimienta, canela, jengibre y nuez moscada eran llevadas hacia el oeste. India comerciaba con algodón y perlas, Persia exportaba alfombras y cuero, y Europa enviaba plata y lino. Roma comerciaba con su vidrio de gran calidad, y del mar Rojo llegaban topacio y coral. Incienso procedente del sur de la península Arábiga, así como piedras preciosas y tintes como el índigo, eran transportados a través de Asia central.[30]

Pero la enorme importancia de la Ruta de la Seda a lo largo de la historia no se limitó al intercambio de bienes. Junto con las rutas comerciales marítimas que recorrían las costas meridionales de Eurasia, esta extensa red de transporte por tierra proporcionó asimismo carreteras para la difusión de ideas, filosofías y religiones. Descubrimientos en el ámbito de las matemáticas, la medicina, la astronomía y la cartografía, así como innovaciones y nuevas tecnologías, entre ellas el estribo, la fabricación de papel, la imprenta y la pólvora, se expandieron entre los pueblos de toda Eurasia a lo largo de estas rutas comerciales.[31] Las redes integradas terrestres y marítimas fueron el internet de la época, que permitieron no solo el comercio a grandes distancias, sino también el intercambio de saber humano.(64)

Sin embargo, a partir del siglo XVI la Ruta de la Seda empezó a perder importancia, a medida que el comercio por tierra era superado por la red oceánica mundial tejida conjuntamente por los marinos europeos en la era de la exploración. Las antiguas estaciones intermedias de la Ruta de la Seda, que antaño fueron algunos de los lugares más dinámicos de la Tierra, perdieron su ajetreo y su esplendor, y aunque algunas de las paradas de caravanas, como Samarcanda y Hera¯t, siguen siendo en la actualidad ciudades populosas, otros muchos puntos comerciales solo viven de sus recuerdos culturales. Fueron los puertos costeros los que empezaron a dominar el comercio a escala mundial.

No obstante, durante siglos la Ruta de la Seda tuvo una influencia enorme para el movimiento de bienes, personas e ideas, a medida que las caravanas se abrían camino a través de los pasos de montaña y los desiertos. Y fueron las zonas ecológicas y el paisaje de Eurasia central los que crearon una distinción fundamental en la organización de sociedades en todo el continente, que dejó una impronta indeleble en su historia.

Mares de hierba

Hemos visto como las bandas de desiertos que recorren el mundo son creadas por el aire descendente seco del patrón de circulación de la atmósfera de la Tierra (así como por el efecto de sombra de la lluvia que se produce tras cordilleras como el Himalaya). Pero el gradiente de temperatura desde los polos del planeta hacia el ecuador define también una serie de zonas climáticas alternas, así como los distintos ecosistemas que se encuentran en ellas.[32] Estas franjas horizontales existen en los dos hemisferios del planeta, pero son más pronunciadas en el septentrional, por su mayor masa continental.

Allí la zona situada más cerca del polo, y que se extiende por el norte de Siberia, Canadá y Alaska, es la tundra. Unas temperaturas muy bajas y una estación de crecimiento corta dan lugar a un paisaje desolador en el que sobrevive poca cosa más que matorrales enanos dispersos, brezos y líquenes resistentes aferrados a las rocas. Está poblada únicamente por pastores de renos o cazadores de caribúes.[33]

Al sur de la tundra se encuentra la taiga, una franja de densos bosques de coníferas. Esta zona ecológica subártica cubre la mayor parte de Canadá, Escandinavia, Finlandia y Rusia, y da paso gradualmente a los bosques deciduos de Europa del Norte y Estados Unidos en su límite meridional. Aunque no es adecuada para la agricultura ni para criar ganado, la taiga ha sido una fuente importante de pieles de, entre otras especies, visón, marta cibelina, armiño y

zorro. En la historia moderna más reciente, la demanda de pieles empujó a los tramperos a través de este cinturón de taiga y convirtió a Moscú en un centro comercial importante. En busca de pieles, Rusia se expandió hacia el este en el transcurso de los siglos XV y XVI; lo hizo a través de Siberia y llegó hasta la costa del Pacífico y las fronteras septentrionales del Imperio Qing.[34] En el siglo XVII, tramperos franceses y de otros países europeos se abrieron paso de manera similar a través de los bosques canadienses.[35](65)

Al sur de la tundra, el clima de nuestro planeta se vuelve templado, antes de pasar a ser tropical cerca del ecuador. Esta pauta de zonas ecológicas, dispuestas como franjas entre el polo y el ecuador, ha definido durante toda la historia los estilos de vida y las posibilidades económicas de la gente que vivía en ellas. Una región ecológica en particular ha tenido una influencia duradera en las civilizaciones de los márgenes del interior de Eurasia.

Encajonada entre la banda septentrional de clima frío de la taiga y las cadenas de desiertos del sur, hay una vasta extensión de pastizales. En Eurasia esta zona ecológica recibe el nombre de «estepa», y se sitúa en la misma banda de latitudes que las praderas de Norteamérica; las pampas argentinas y el *veld* sudafricano se hallan en el cinturón correspondiente en el hemisferio sur.

Situadas en el centro de la masa continental euroasiática, las estepas no están afectadas por los húmedos vientos oceánicos, de modo que reciben poca precipitación. Esto las vuelve demasiado áridas para que la mayoría de los árboles sobrevivan, y la vegetación dominante son hierbas resistentes a la sequía. A su vez, este pasto sostiene un gran número de mamíferos ungulados (muchos de los cuales, como hemos visto en el capítulo 3, evolucionaron originalmente en este ecosistema). Las estepas se extienden a lo largo de más de 6.000 kilómetros en un cinturón amplio y continuo desde Manchuria hasta Europa oriental. Son un enorme mar de hierba, mayor que todo el Estados Unidos continental, si bien las cordilleras hacen que se estreche en algunos lugares hasta formar corredores angostos; como resultado, pueden dividirse aproximadamente en tres áreas

principales.

La estepa Occidental o pontocáspica se extiende desde los montes Cárpatos y la desembocadura del río Danubio, limitada por el mar Negro y el Cáucaso al sur, directamente hasta donde los montes Urales se introducen unos cuantos cientos de kilómetros en los mares Caspio y de Aral. (La Gran Llanura húngara forma una isla de pradera en el oeste, separada del cinturón principal por los montes Cárpatos.) La estepa central o kazaja se extiende desde los Urales hasta las montañas de Tian Shan y Altái, entre las cuales está la Puerta de Zungaria, a través de la cual pasaba el camino septentrional de las rutas de la seda. Por último, la estepa Oriental se extiende desde Zungaria hasta Manchuria, pasando por Mongolia y el límite norte del desierto de Gobi, hasta que alcanza los bosques que tapizan la costa del Pacífico.(66)

Las estepas no son un ambiente propicio a la ocupación humana. Las temperaturas varían mucho de una estación a otra. En el calor seco del verano pueden subir hasta los 40 ºC, y la poca lluvia que cae lo hace de forma torrencial. En invierno, bajo los cielos sin nubes, las estepas se vuelven muy frías, con temperaturas que caen hasta los -20 ºC o menos, el suelo queda cubierto por una gruesa capa de nieve y vientos huracanados barren el llano paisaje. Y, lo que es más importante, con poca vegetación más allá de una dura hierba que nuestro tubo digestivo no puede digerir, las estepas no tienen mucho que ofrecer a los cazadores-recolectores y presentan una barrera formidable a los que viajan a pie. Para sobrevivir en ellas se necesita movilidad, así como una manera de generar comida.

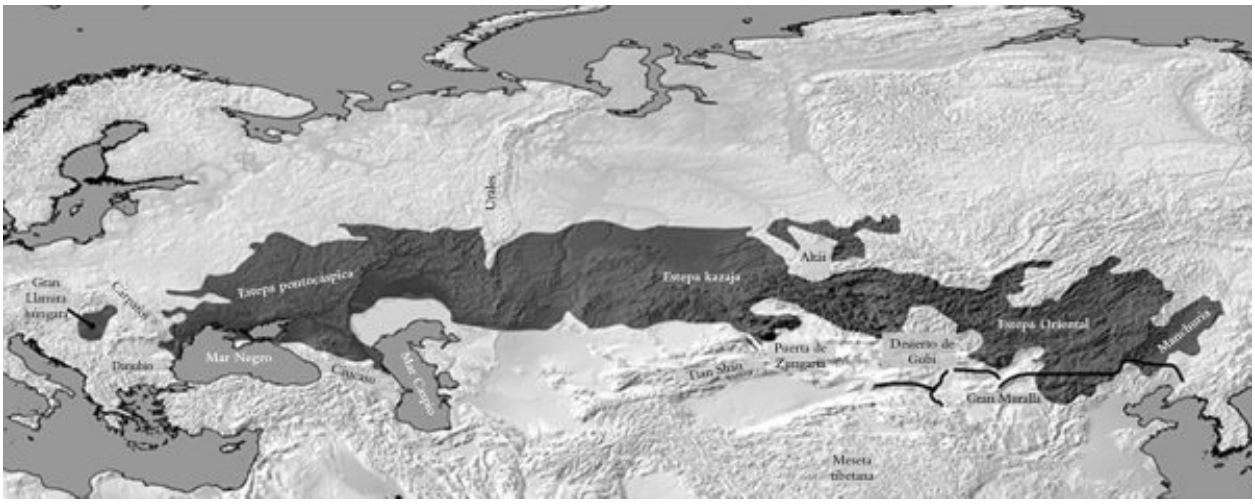


FIGURA 18. La banda ecológica de las estepas que se extiende por Eurasia.

Mientras que el camello estaba adaptado de manera ideal a la banda de desiertos de la Tierra, las estepas herbáceas que se extienden por Eurasia central proporcionan un hábitat perfecto para el caballo. La zona de distribución natural de estos equinos se redujo en todo el mundo de manera espectacular hace entre 10.000 y 14.000 años, con el final de la última edad de hielo. El caballo se extinguió en Norteamérica, y cuando el planeta se caldeó la especie desapareció asimismo de Oriente Próximo. Con la retirada de los casquetes de hielo, amplias zonas de praderas secas de todo el norte de Eurasia fueron sustituidas por bosques densos, y en Europa el caballo sobrevivió solo en algunas bolsas aisladas de pastos naturales. Pero, en las estepas de Asia central, los caballos y sus parientes équidos se convirtieron en los animales ramoneadores más comunes, y allí fueron cazados por las tribus del Neolítico. La evidencia arqueológica indica que más del 40 por ciento de la carne de su dieta procedía de équidos.

En realidad, en principio los caballos fueron domesticados no para el transporte, sino como fuente de alimento. El ganado vacuno no pasta hierba si no la puede ver a través de la nieve, y la tierna nariz de las ovejas les permite comer solo si la nieve es blanda. Por ello, en invierno ambas especies son propensas a quedarse quietas en los pastizales y a morir de hambre aun teniendo forraje

inmediatamente debajo de las patas. El caballo, sin embargo, está bien adaptado a las praderas frías y puede romper incluso la nieve compactada y helada con las pezuñas para dejar al descubierto la hierba invernal que hay debajo; también es capaz de quebrar el hielo de masas de agua helada para encontrar bebida. De hecho, el desencadenante de que los humanos empezaran a domesticar caballos bien pudo ser el cambio climático que desembocó en inviernos más fríos en Eurasia.[37] Esto se consiguió posiblemente en fecha tan temprana como hacia el año 4800 a. C. en las estepas al norte de los mares Negro y Caspio.[38]

Los humanos aprendieron cómo controlar y montar a los animales, y esto resultó ser del todo transformador. Tal como hemos visto en el capítulo 3, la domesticación de especies de mamíferos ramoneadores, como las ovejas y las vacas, confirió a los humanos la capacidad de convertir hierba en carne y leche nutritivas. Pero los granjeros asentados tienen pocos pastos disponibles para su ganado, y este puede agotarse rápidamente por el pastoreo de los animales. Los pastores a caballo, con vastas praderas a su disposición, podían desplazarse mucho más lejos y controlar rebaños mucho mayores. Además, la introducción desde Mesopotamia,[39] hacia el año 3300 a. C., de carros con ruedas sólidas y tirados por bueyes dio a los pueblos de las estepas la oportunidad de llevar consigo todo lo que necesitaban (alimentos y agua, tiendas para cobijarse) y de vagar libremente durante largos periodos con sus rebaños por vastas praderas.[40] Esta combinación de ganado ungulado herbívoro, la monta de caballos veloces y carros arrastrados por bueyes que servían como casas móviles abrió las estepas a la ocupación humana generalizada.(67)

La agricultura de regadío para cultivar cereales solo es posible en las zonas más fértiles a lo largo de los pocos ríos que atraviesan las estepas, de modo que, por regla general, la gente sobrevivía allí como nómadas pastoralistas; criaba ganado y se movía continuamente con sus rebaños entre diferentes zonas de pastoreo, siguiendo las estaciones.[43] Además, el paisaje de las estepas presenta pocos impedimentos a los movimientos por tierra. Esta región central de Asia es, desde el punto de vista tectónico, terreno antiguo, no elevado por colisiones

recientes de placas y aplanado por la erosión. Aunque el borde meridional de Eurasia se caracteriza por sus grandes cordilleras, la banda de estepas que recorre la parte media del continente se halla en gran parte libre de estas barreras. La excepción son los montes Urales, una de las pocas cordilleras de Asia que se extiende de norte a sur,[44] con lo que separa las estepas occidental y kazaja y limita los desplazamientos a un estrecho pasaje entre su extremo meridional y el mar Caspio.(68) Pero, salvo los Urales, existen pocas barreras naturales, como pantanos o bosques. Los jinetes y las carretas pueden deambular fácilmente por las estepas, convirtiéndolas en una enorme autopista natural que se extiende por el continente y que llegó a conformar la historia de Eurasia en su conjunto.

Estos nómadas mantuvieron una relación incómoda con las sociedades agrarias asentadas en los márgenes del continente, que oscilaba entre la coexistencia pacífica pero tensa y el conflicto armado. Comerciaban con sus rebaños y con los productos de sus animales: ganado, lana de sus ovejas y sobre todo caballos, que criaban en gran número en las praderas. También ofrecían sus servicios como mercenarios en los ejércitos de las civilizaciones euroasiáticas, contribuyendo a menudo a vigilar sus fronteras frente a las incursiones de otras tribus nómadas. Exigían dinero a cambio de protección a las caravanas de mercaderes que atravesaban sus tierras, o si no les tendían una emboscada. Sin embargo, su mayor influencia en el curso de la historia de Eurasia la ejercieron cuando surgieron en gran número de las profundidades de las estepas para invadir los territorios de las civilizaciones asentadas en los bordes del continente.

Los nómadas a caballo eran un enemigo formidable para estas sociedades agrícolas y marítimas.[46] A veces exigían tributos y se les podía pagar; en otras ocasiones, no obstante, hacían incursiones en granjas y aldeas para saquear, y tras apoderarse de todo el botín que podían cargar, simplemente se desvanecían de nuevo en las vastas extensiones de las praderas. Sin contar en sus filas con una nutrida caballería montada, los ejércitos de las sociedades agrarias no podían perseguirlos por el mar de hierba, pues las áridas llanuras no ofrecían alimento

para sostener las campañas de los soldados de infantería. Y varias veces a lo largo de la historia, aliados laxamente en grandes confederaciones, las tribus nómadas surgieron de las estepas para invadir y conquistar las civilizaciones asentadas, y a veces forjaron enormes imperios que se extendían por Asia.[47]

Pero la influencia de los pueblos de la estepa sobre las civilizaciones de la periferia de Eurasia no solo consistió en asaltos militares directos. Al ser pastores nómadas, estaban en continuo movimiento, pero cuando el delicado equilibrio de su ambiente sufría alteraciones (un aumento de la población o un deterioro de las tierras de pastoreo debido a un cambio en el clima), tribus enteras se veían obligadas a emigrar de sus tierras para buscar mejores pastos. De resultas de ello, oleadas de disrupción reverberaban por las estepas cuando una sucesión de tribus desplazadas se movían por las homogéneas llanuras y expulsaban a sus vecinos, como bolas de billar que rebotan unas contra otras. Al final, algunos pueblos de las estepas se vieron obligados a desparramarse por las tierras de las sociedades asentadas, por ejemplo Manchuria y el norte de China en el este, y Ucrania y Hungría en el oeste.[48]

Así, la historia y el destino de las civilizaciones situadas en la periferia de la gran masa continental euroasiática (en China, India, Oriente Próximo y Europa) ha sido el relato de una lucha recurrente contra tribus nómadas que surgían de la zona central de las estepas. Los escitas fueron de los primeros en dominar la guerra a caballo. Eran originarios de los alrededores de los montes Altái y llegaron a controlar gran parte de la región esteparia entre los siglos VI y I a. C., cabalgando hacia el oeste para enfrentarse con los imperios asirio y aqueménida en Mesopotamia y Persia, y luchando incluso contra Alejandro Magno. China se vio repetidamente amenazada por pueblos de las estepas, entre ellos los xiongnu, los kitán, los uigures, los kirguises y los mongoles.[49] Y entre los siglos V y XVI d. C. una serie de grupos nómadas llegaron a Europa desde las estepas: los hunos, ávaros, búlgaros, magiares, calmucos, cumanos y pechenegos, así como los mongoles.[50]

Durante milenios, las estepas constituyeron un gran hervidero de nómadas pastorales que rebasaban una y otra vez sus márgenes para irrumpir en los dominios de las civilizaciones agrarias y sedentarias de la periferia del continente. Este conflicto entre ambos fue una dinámica persistente de la historia de Eurasia, y obedeció fundamentalmente a una distinción ecológica entre las praderas secas y las tierras agrícolas fértiles (los mundos de la estepa y del sembrado), y entre los diferentes estilos de vida humanos que sostienen. Pero fue el paisaje del continente lo que determinó y canalizó una y otra vez estas migraciones e invasiones a lo largo de las mismas rutas.

Pueblos desplazados

Al igual que la Ruta de la Seda atravesaba corredores estrechos, valles y puertos de montaña, el paisaje proporcionó vías apropiadas para que invasores armados penetraran en las tierras de la civilización. Si bien estos canales facilitaron el comercio a lo largo de las rutas terrestres, también hicieron que las sociedades instaladas en la periferia de Eurasia fueran vulnerables a las incursiones y la conquista.

India estaba protegida en su mayor parte por la gran barrera del Himalaya, pero el estrecho paso Jáiber a través del Hindú Kush proporcionaba un punto de entrada para los invasores. China, como hemos visto antes, se benefició por regla general de barreras naturales, pero sus llanuras centrales estaban expuestas a incursiones nómadas procedentes de las estepas al norte, y desde el oeste a través de la Puerta de Zungaria, que conducía a los invasores a lo largo del corredor de Gansu hasta el centro mismo de China.[51]

La Gran Muralla fue construida para defender a China de la entrada de nómadas de las estepas. Después de la unificación, el primer emperador de la dinastía Qin fortificó esta frontera septentrional a partir del año 221 a. C.,[52] y los muros los extendieron los Han entre el 200 a. C. y el 200 d. C. para proteger

el trecho de la Ruta de la Seda que pasaba a lo largo del corredor de Gansu hasta la cuenca de Tarim. Sin embargo, muchos de los restos más impresionantes de la muralla se remontan a las obras de construcción durante la dinastía Ming, a partir de mediados del siglo XIV. A primera vista, la Gran Muralla sirve como una línea de demarcación entre dos estilos de vida y dos culturas básicamente diferentes: el nómada y el sedentario, los bárbaros y los civilizados. Pero, en un sentido más profundo, estas fortificaciones fueron construidas a lo largo de la frontera ecológica fundamental entre las tierras húmedas y fértiles que permiten la agricultura y las estepas secas e inhóspitas del centro del continente, donde solo los pastoralistas podían sobrevivir. No obstante, China fue invadida repetidamente por pueblos de las estepas, que a menudo penetraban por el paso de montaña de Zungaria y a través del corredor de Gansu. De la misma manera que el paso Jáiber proporcionó un punto de entrada a India a los invasores nómadas, China fue atacada a su vez a lo largo de la Ruta de la Seda. Los pasajes del comercio también facilitaban la invasión.

En el borde occidental de Eurasia, Europa es vulnerable a incursiones e invasiones por unas cuantas rutas a baja altitud y ciertos pasos de montaña de gran relevancia que proporcionan acceso a los nómadas de las estepas. Desde las occidentales, una ruta pasa al sur del Cáucaso y el mar Negro a lo largo de Anatolia, mientras que otra se dirige hacia el norte del mar Negro hasta los montes Cárpatos y después, o bien al norte entre estas montañas y las marismas de Pinsk, junto al río Prípiat, o bien al sur siguiendo el valle del Danubio; ambos caminos conducen a los invasores al corazón de las llanuras de Europa del Norte. [53] Los hunos que desafiaron al Imperio romano a partir del siglo IV d. C., los búlgaros que emigraron a los Balcanes en el siglo VII, los magiares que penetraron en las llanuras húngaras en el siglo IX y la invasión de los mongoles en el siglo XIII, todos se dirigieron originalmente a Europa desde las estepas a lo largo de estos corredores.[54]

Si los enfrentamientos entre tribus nómadas y sociedades sedentarias

reflejaban el estilo de vida que sus hábitats respectivos sostenían, el mundo natural y la distribución de los diferentes ecosistemas también dictaban el curso de acción de los nómadas de las estepas una vez que estos habían invadido las tierras agrícolas.

La amenaza formidable que constituían los pueblos de los caballos era atribuible principalmente a su movilidad. A diferencia de los ejércitos lentos de las civilizaciones asentadas, los nómadas podían operar con celeridad y cubrir vastas distancias. Pero los invasores de las estepas estaban limitados por una restricción ecológica fundamental. Sus proezas militares dependían de que fueran capaces de poner sobre el terreno un gran número de guerreros montados y rápidos, pero sus caballos tenían que comer. Esto era sencillo en su hábitat natural de las extensas praderas de las estepas, pero, tan pronto como los invasores penetraban demasiado en las tierras agrícolas que rodeaban la periferia euroasiática, tenían dificultades para alimentar a sus corceles. Las tierras de regadío producen muchos cereales por hectárea para alimentar a la gente, pero no sirven como pastos para sostener un número elevado de caballos.

Esta limitación impuesta por la naturaleza revela que los estilos de vida agrícola y pastoralista son intrínsecamente incompatibles, de modo que, tras gozar del botín de la victoria, los invasores de las estepas se veían obligados, o bien a retirarse y volver a sus extensos pastos naturales, o bien a cambiar fundamentalmente sus costumbres y asimilarse a la sociedad sedentaria.[55] No debe sorprendernos, por tanto, que los hunos, que invadieron el corazón mismo de Europa a mediados del siglo V d. C., eligieran como su centro de operaciones las llanuras húngaras, unas tierras fronterizas desde el punto de vista ecológico entre la estepa y los campos agrícolas, y la bolsa más occidental de las estepas.[56]

Otros abandonaron sus costumbres nómadas. Al principio, los turcos otomanos fueron expulsados de las estepas y obligados a penetrar en Anatolia en el siglo XIII a raíz de la expansión mongola de Gengis Kan. Allí se establecieron,

al adoptar un estilo de combate basado en las fortificaciones, y formaron ejércitos de jóvenes esclavos cristianos que eran obligados a convertirse al islam, los famosos jenízaros.[57] A finales del siglo XIII, los otomanos se habían convertido en una amenaza importante para los estados de la cristiandad, y en 1453 capturaron Constantinopla y pusieron fin al Imperio bizantino.[58]

Los jinetes nómadas surgidos de las estepas desencadenaron dos de los acontecimientos más decisivos de la historia mundial: la caída del Imperio romano occidental y la conquista de Asia por los mongoles.

La decadencia y caída del Imperio romano

Hemos visto anteriormente como hacia el siglo I d. C. el Imperio romano se había expandido por todo el litoral mediterráneo, deteniéndose en las fronteras naturales definidas por los desiertos de África del Norte y las cordilleras y los grandes ríos de Europa. Sin embargo, hacia el año 300 d. C. toda la frontera nororiental del imperio, a lo largo de los ríos Rin y Danubio, se hallaba sometida a la presión de las tribus germánicas que ocupaban las tierras salvajes situadas más allá, y cuya población iba en aumento. La situación empeoró unas pocas décadas después con una serie de incursiones violentas que forzaron unas migraciones desencadenadas por un pueblo de jinetes que surgió de las estepas y que empujó a estas tribus a superar las fronteras de Roma. Se cree generalmente que este pueblo de jinetes era la misma confederación de tribus nómadas que en el límite oriental del cinturón de estepas había estado amenazando a China desde el siglo III a. C.,[59] los xiongnu. Cuando aparecieron en Occidente, se les conoció como «hunos».[60]

Por entonces estas se desplazaron hacia el oeste a lo largo del cinturón de estepas, a buen seguro en busca de mejores pastos durante un periodo de cambio climático regional; tenemos pruebas de un enfriamiento en el hemisferio norte que en aquella época causó sequías en las estepas[61] y que debió de reducir los

recursos de hierba para alimentar a sus rebaños y a sus caballos. Los hunos alcanzaron el río Don en la década de 370 d. C.,[62] y en el proceso desplazaron a otros grupos nómadas que a su vez expulsaron de sus tierras a aldeanos de Europa oriental.

Grandes cantidades de estos refugiados llegaron a la frontera del Imperio romano occidental a lo largo de los ríos Rin y Danubio, y no pasó mucho tiempo antes de que, tribu tras tribu, empezaran a introducirse en territorio romano: burgundios, lombardos, francos, visigodos, ostrogodos, vándalos y alanos.[63]

A finales del siglo IV, tras empujar con su avance a una serie de tribus como una gran ola de pueblos que huían y se apartaban de su camino, los hunos llegaron a las fronteras del Imperio romano. Se dispusieron a conquistar a las tribus que vivían al norte del Danubio antes de dirigirse hacia el Imperio romano oriental, que se había librado de gran parte de las migraciones tribales e invasiones previas. Liderados por el temible Atila a partir del año 434, los hunos asolaron Grecia y los Balcanes en campañas sucesivas, y llegaron hasta las murallas de la misma Constantinopla. Se vieron detenidos por las formidables fortificaciones de la ciudad, pero aun así fueron capaces de recaudar enormes impuestos del imperio.

Envalentonado por estos éxitos en el este, Atila dirigió sus agresiones al Imperio romano occidental. Tras avanzar a lo largo del Danubio y el Rin, saqueando una ciudad tras otra por el camino, invadió la Galia romana (la moderna Francia) en el año 451, antes de ser vencido en batalla por una alianza de las mismas tribus y pueblos de los caballos que habían sido desplazados tiempo atrás por la aparición de los hunos desde las estepas. Pero Atila volvió al año siguiente para devastar las llanuras del norte de Italia, y obligó al emperador a alcanzar un acuerdo para impedir que los suyos avanzaran sobre Roma. Atila murió dos años después y el Imperio huno se disolvió al cabo de poco, pero ya habían puesto en marcha las ruedas de la destrucción del Imperio romano occidental.[64]

Y no fueron solo los romanos los que padecieron el embate de estos pueblos desplazados. Persia también experimentó el asalto de tribus nómadas que se desbordaron sobre el Cáucaso y que saquearon las ciudades de Mesopotamia y Asia Menor.[65] A finales del siglo IV, el Imperio romano oriental y Persia, al enfrentarse a un enemigo común, dejaron de lado su vieja enemistad para trabajar conjuntamente en la construcción y el acuartelamiento de una enorme muralla fortificada, que tenía unos doscientos kilómetros de longitud —se extendía desde el mar Negro hasta el mar Caspio—, contaba con un foso de cuatro metros y medio de profundidad y estaba tachonada con treinta fuertes a lo largo de su recorrido, con una dotación de treinta mil soldados. Esta muralla persa solo es superada por la Gran Muralla china como la barrera defensiva más larga jamás construida, y fue erigida exactamente con el mismo objetivo: defender la frontera entre la civilización sedentaria y las tierras salvajes y bárbaras.[66]

Pero para el Imperio romano occidental ya era demasiado tarde. La frontera a lo largo del Rin y el Danubio se había visto asediada, y oleada tras oleada de tribus migrantes reventaron sus defensas. Los visigodos penetraron por la península Itálica y en el año 410 saquearon la propia ciudad de Roma.[67] Los vándalos, otra tribu a la que los hunos habían desplazado, avanzaron por Europa central, cruzaron la península Ibérica e invadieron el África del Norte romana, donde en el año 439 capturaron la ciudad de Cartago y las regiones circundantes que habían suministrado cereales al Imperio occidental. Sus conquistas incluían asimismo Sicilia, Cerdeña y Córcega, y en el año 455 los vándalos también saquearon Roma. En el año 476, el poder centralizado del Imperio romano occidental se había disuelto irremediablemente, y sus antiguos territorios estaban ahora divididos en reinos que gobernaban las tribus germánicas que habían desbordado las fronteras imperiales desde el este: los francos en Francia y Alemania, los visigodos en España y los ostrogodos en Italia. Durante la Edad Media, estos reinos se desarrollaron hasta dar lugar a las naciones de la Europa

moderna.

El Imperio romano occidental había sido destruido por la «gran migración» de tribus nómadas y pastoralistas procedentes de las estepas. De nuevo, son causas planetarias fundamentales las que explican este punto de inflexión en la historia. En último término, la caída de Roma se debió a la distinción ecológica entre las praderas áridas de las estepas euroasiáticas que sustentaban a nómadas pastoralistas que montaban a caballo y las tierras más húmedas, ubicadas en la periferia, que sustentaban la agricultura sedentaria del imperio, así como a un cambio climático en las estepas que desencadenó estas oleadas de pueblos desplazados.

Pax Mongolica

En el siglo XIII, los pueblos de los caballos de las estepas cambiaron de nuevo el curso de la historia por toda Eurasia. Los mongoles surgieron de las praderas y en solo veinticinco años consiguieron conquistar más territorio que el que Roma se había anexionado en cuatro siglos.[68] El Imperio mongol no solo unió las tribus de la vasta estepa euroasiática, sino que también incluyó China, Rusia y gran parte del sudoeste de Asia, lo que lo convirtió en el mayor imperio terrestre que el mundo haya conocido.[69] El líder que instigó esta campaña espectacular era el hijo de un notable jefe tribal del este de Mongolia, bautizado al nacer como Temuyín (que quizá significara «herrero»). Pero fue el título que adoptó por el que se hizo famoso (o infame), Gengis Kan (el «caudillo feroz»).[70]

Gengis Kan pertenecía a solo una de las muchas tribus nómadas que pastoreaban ovejas en la franja septentrional de China, pero en 1206 había unificado las tribus vecinas y se había convertido en el dueño de las estepas de Mongolia.[71] Una vez consolidada su base de poder, sus hordas de invasores montados a caballo abandonaron a toda prisa las estepas para atacar a las civilizaciones de la periferia de Eurasia. Invadieron el norte de China en

1211[72] y después barrieron Asia central.[73] Gengis Kan falleció en 1227, pero sus sucesores demostraron ser igual de competentes en su expansión militar.[74] La conquista mongola continuó a través de Oriente Próximo, antes de que las gentes de las tribus se dirigieran, tras atravesar el Cáucaso, a Rusia meridional y Europa oriental.[75]

Allí avanzaron hacia el interior de Polonia y las llanuras de Hungría, alcanzaron las afueras de Viena[76] y sembraron el pánico por toda la cristiandad.[77] Pero Europa se libró gracias a un giro trascendental de la historia. El Gran Kan de la época, Ogodei, que era hijo y sucesor de Gengis, murió repentinamente, y los líderes mongoles se retiraron a su capital, Karakórum, para elegir al siguiente jefe supremo. Al final, los kanes no intentaron proseguir su conquista en dirección al Atlántico, de modo que el Imperio mongol terminó en el extremo occidental del cinturón estepario.[78] En cambio, se dirigieron de nuevo al este, conquistaron China en su totalidad y se establecieron como la dinastía Yuan.[79] Su primer emperador, Kublai Kan, gobernó desde Shangdú (que Coleridge transcribió como Xanadú en su famoso poema) antes de trasladar su trono a Beijing.[80](69)

A finales del siglo XIII el Imperio mongol se extendía a lo largo y ancho de Asia, desde el océano Pacífico hasta el mar Negro. Durante esta expansión increíble, los mongoles fueron célebremente brutales por su forma de tratar a las ciudades que rehusaban rendirse de inmediato.[82] Masacraban a todos los habitantes (hombres, mujeres, niños, incluso el ganado) y, tras de sí, dejaban solo calles vacías y pirámides de cráneos. Este uso deliberado y horripilante de la violencia tenía por objetivo animar a las siguientes ciudades de su recorrido a capitular sin oponer resistencia; las espeluznantes noticias acerca de su salvajismo se difundían mucho más deprisa de lo que avanzaban sus ejércitos. Pero los mongoles no eran solo las hordas temibles de guerreros feroces de la imagen generalizada. Una vez superada la resistencia, las ciudades capturadas solían ser reconstruidas bajo la atenta administración de sus invasores.[83] Los

kanes eran asimismo notablemente tolerantes con los diferentes pueblos a los que gobernaban, y permitían la libertad cultural y religiosa.[84] Después de la campaña inicial de conmoción y terror, los mongoles podían cautivar los corazones y las mentes.

Además, cuando la furia y violencia iniciales de la conquista hubieron pasado, la unificación de Asia dio pie a una era de comercio floreciente por todo el continente. Esto ha recibido el nombre de *Pax Mongolica*, un eco de la *Pax Romana*, el periodo de estabilidad y prosperidad en el Mediterráneo que había traído el Imperio romano un milenio antes. Y es que, durante un siglo aproximadamente a partir de 1260, los kanatos mongoles garantizaron el tránsito y la seguridad de los mercaderes por toda Asia, y su destreza para la administración y su perspicacia a la hora de mantener bajos los impuestos se combinaron para promover el comercio.[85] A diferencia de las tácticas relámpago de los invasores nómadas de épocas anteriores, que se apoyaban en el botín de los saqueos o en los tributos arrancados a las civilizaciones agrarias, los kanes entendieron que podían obtener muchos más beneficios del intercambio que del saqueo. El comercio a lo largo de la Ruta de la Seda floreció durante este periodo, y las caravanas no solo recorrían las viejas rutas del desierto de Asia central, sino que también se dirigían más al norte, a la capital mongola, Karakórum, y a través de las estepas herbáceas.[86] Los mongoles habían logrado unir Oriente y Occidente como nadie lo había hecho antes.

De resultas de ello, especias y otros productos de lujo fluyeron a raudales hacia Europa.[87] El alto horno llegó a Occidente durante la *Pax Mongolica*, y los mongoles también dieron a conocer la pólvora china a los europeos,[88] lo que cambió para siempre la naturaleza de la guerra. Pero la unificación de Asia y la facilidad para desplazarse por el continente tuvieron otra profunda consecuencia para la historia. Otra cosa mucho más destructiva penetró también en el torrente sanguíneo que fluía a lo largo de las arterias de comunicación que recorrían Eurasia: la enfermedad.

La peste negra o «muerte negra» surgió en las estepas y se expandió por aquel

mundo conectado a mediados del siglo XIV. La peste bubónica alcanzó China en 1345 y Constantinopla en 1347. De allí viajó hasta Génova y Venecia a bordo de barcos mercantes,[89] y en el verano siguiente ya se había propagado por el norte de Europa. Las personas ya debilitadas por la mala nutrición fruto de una serie de malas cosechas (la llegada de la plaga coincidió con el inicio del descenso de temperaturas de la Pequeña Edad de Hielo)[90] sucumbieron pronto a la enfermedad. En el transcurso de solo cinco años, la peste negra había matado al menos a un tercio de los habitantes de Europa y China,[91] y también devastó Oriente Próximo y África del Norte. Unos 25 millones de personas murieron solo en Europa.[92]

La peste golpeó a los kanatos mongoles con la misma virulencia; estos ya no tenían el mismo poder, porque rivalidades internas los habían debilitado. En China la dinastía Yuan fue destronada por la Ming en 1368, y por toda Eurasia el vasto Imperio mongol se fragmentó de nuevo en multitud de estados sin unidad política ni económica. Las estepas se convirtieron una vez más en un mosaico de tribus nómadas que luchaban entre sí, y la autopista entre Oriente y Occidente se vino abajo. Sin embargo, en Europa occidental la peste negra trajo consigo algunas consecuencias beneficiosas. La grave despoblación significó que muchos señores perdieron a los arrendatarios de sus tierras, con lo que se vieron obligados a aceptar rentas menores y una mano de obra campesina más móvil. La escasez de fuerza laboral también comportó que los artesanos y los obreros agrícolas pudieran exigir salarios mayores. Ello suavizó el vasallaje bajo el sistema feudal y mejoró la movilidad social en Europa occidental, donde los gremios de las localidades más pobladas y mercantiles ya tenían un ascendiente considerable.(70) La irrupción de la muerte negra, surgida en las estepas y propagada gracias a la infraestructura comercial en manos de los mongoles, sacudió los cimientos del feudalismo y ayudó a sentar las bases de una sociedad diferente y con mayor movilidad.[93]

Las conquistas de la superpotencia mongola tuvieron asimismo otras

consecuencias trascendentales para la historia de Europa. En su avance hacia el oeste habían destruido el gran imperio islámico de los jorásmidos en Asia central, diezmando sus ciudades comerciales de Samarcanda, Merv y Bujará y devastando Bagdad, la capital del califato abasí. Pero fue muy importante que los mongoles se detuvieran y no avanzaran hacia Europa. Los puertos de Venecia y Génova siguieron siendo los principales centros mercantiles de Occidente, y acumularon riqueza y poder durante el periodo medieval tardío del Renacimiento. Al destruir el viejo centro musulmán de Eurasia pero perdonar a Europa, los mongoles inclinaron la balanza del poder en la región, a la que se le dio la oportunidad de seguir adelante y empezar a desarrollarse más rápidamente que el mundo islámico.[94] Aun así, cuando Constantinopla cayó ante los otomanos en 1453, hacía más de un siglo que el Imperio bizantino era poco más que un Estado de segunda fila, con gobernantes musulmanes que dominaban todo el Mediterráneo oriental y bloqueaban las rutas comerciales procedentes de Oriente que se dirigían a Europa.[95] Fue por esta razón que los marinos europeos empezaron a mirar hacia el oeste en busca de nuevas rutas marítimas para llegar a las riquezas de China e India en la era de la exploración, tal como veremos en el próximo capítulo.

El final de una época

Durante milenios, las estepas habían representado un vasto yermo, el hogar de pastoralistas nómadas. Estas praderas habían albergado a un gran número de guerreros montados a caballo, capaces de atacar a las civilizaciones agrícolas de la periferia de Eurasia en incursiones devastadoras. Pero, desde mediados del siglo XVI, primero los estados de la Europa del Renacimiento, y después Rusia y China, empezaron a cambiar de forma decisiva el equilibrio de poder entre el mundo de los cultivos y el de la estepa. El progreso fundamental vino de la mano de todo un sistema de avances interrelacionados conocidos como «revolución

militar». Los estados agrarios aprendieron a usar con eficacia la pólvora para mosquetes y cañones, desarrollaron entrenamientos militares coordinados para descargar una potencia de fuego devastadora en el campo de batalla, crearon sistemas logísticos de largo alcance para mantener abastecidas a sus tropas y transformaron sus economías para que mantuvieran ejércitos más grandes y más permanentes.[96] Estas innovaciones centralizaron el poder militar, lo que permitió que los gobernantes consolidaran su control y unificaran los feudos en estados grandes, y esto marcó el inicio de nuestras naciones modernas.[97]

Las sociedades de las estepas no pudieron competir con estos avances militares. Aunque podían obtener armas de fuego mediante el comercio, de la misma manera que a lo largo de la historia las sociedades agrícolas les habían comprado caballos, su poder adquisitivo estaba limitado por una economía mucho menos desarrollada que la de los estados agrarios consolidados. Por primera vez, esto inclinó claramente la balanza en favor de las sociedades sedentarias. El último suspiro del poder nómada tuvo lugar en la década de 1750, cuando la China Qing derrotó a una confederación de tribus mongolas en Zungaria. La amenaza militar procedente de las estepas había sido finalmente contenida, y se acabó así un largo capítulo de la historia de Eurasia.[98] Nunca más surgiría de las estepas un imperio de nómadas que desencadenase una crisis existencial entre las civilizaciones agrarias.

Por el contrario, fueron estas poblaciones de los márgenes de las estepas las que empezaron a penetrar cada vez más allá en estas praderas abiertas, estableciéndose en ellas y cultivándolas, reforzando así todavía más sus economías.[99] Rusia y China se expandieron por este territorio intermedio, hasta que sus fronteras terminaron por colindar.[100] Rusia en particular creció hasta convertirse en una superpotencia al expandirse por las estepas que anteriormente dominaba el Imperio mongol, no en busca de pastos para el ganado y los caballos, sino para explotar los ricos recursos minerales de esta enorme región y para convertirla en tierras agrícolas muy productivas valiéndose del fértil suelo de loess, que se había enriquecido todavía más con los nutrientes

procedentes de las hierbas que habían crecido allí durante milenios.[101] El Imperio ruso en expansión transformó gradualmente la estepa pontocáspica al norte de los mares Negro y Caspio en vastos mares de trigo dorado y oscilante. [102] En la década de 1930 estas tierras habían alcanzado una enorme importancia estratégica.(71)

La principal motivación de Hitler para invadir la Unión Soviética en junio de 1941 no fue solo apoderarse de los vitales campos petrolíferos de la región del Cáucaso, sino también asegurarse la posesión de las fértiles tierras de cultivo de las antiguas estepas situadas al norte. Estas no solamente iban a proporcionar su enorme potencial agrícola, sino que satisfarían también la intención de Hitler de asegurarse *Lebensraum*, «espacio vital», para la supervivencia del pueblo alemán.

La Operación Barbarroja acabó fracasando y la Wehrmacht fue derrotada tanto por los retos logísticos que implicaban estas distancias tan enormes como por el inicio del invierno extremadamente frío de las estepas y la embestida del Ejército Rojo. Pero las ambiciones de Hitler ilustran de manera poderosa como las estepas se han visto transformadas profundamente a lo largo de los últimos siglos, desde un yermo habitado por pastoralistas montados a caballo que amenazaban a las civilizaciones sedentarias de Eurasia hasta una tierra cultivada y rica que ahora es vital para alimentar a estas mismas sociedades agrícolas.(72)

La prolongada era de la historia euroasiática caracterizada por sociedades nómadas de las estepas que se enfrentaban repetidamente con las civilizaciones de su periferia tuvo su origen en una distinción ecológica y climática, y había regiones contrapuestas que sostenían, por un lado, el pastoralismo a lomos de caballo y, por otro, la agricultura asentada. Las rutas comerciales terrestres que atravesaban los desiertos de África del Norte y Arabia, y la Ruta de la Seda que conectaba toda la amplitud de Eurasia, estaban dominadas también por una zona climática particular, la de la banda de desiertos creada por el brazo descendente y seco de uno de los grandes patrones de circulación de la atmósfera de la Tierra. Estos patrones de circulación globales son asimismo responsables de los vientos

dominantes en todo el mundo, y fueron cartografiados por los europeos, que aprendieron a explotarlos durante la era de la exploración para crear enormes redes comerciales oceánicas y poderosos imperios de ultramar.

8

La máquina global del viento y la era de los descubrimientos

La era de la exploración empezó en la península Ibérica, en el mismísimo extremo occidental de Eurasia, que era periférico en el contexto del intercambio de bienes y conocimiento que se producía en el continente. Los reinos que iban a ser Portugal y España solo podían contemplar con envidia las riquezas que puertos como Génova y Venecia hacían circular por el Mediterráneo. Durante la Edad Media, gran parte de la península había estado bajo control islámico, después de que el califato omeya la hubiera invadido atravesando el estrecho de Gibraltar en el 711.(73) Los reinos cristianos de la península hicieron retroceder a los árabes durante los siglos de la Reconquista, y Portugal afianzó su dominio de toda la costa occidental a mediados del siglo XIII. Aun así, el reino portugués seguía confinado por su vecino más grande y más rico, Castilla, y solo podía expandirse por las vastedades inexploradas del Atlántico.

Los portugueses continuaron su guerra santa a través del estrecho de Gibraltar y en 1415 capturaron el puerto musulmán de Ceuta, en el extremo septentrional de Marruecos, uno de los puntos de llegada de las rutas de caravanas transaharianas. Fue allí donde saborearon por primera vez la riqueza que podrían adquirir si eran capaces de aventajar al mundo musulmán y transportar ese oro y esos esclavos en sus propios barcos.[1] Los portugueses empezaron a explorar la costa de África occidental para averiguar de dónde procedía el oro, y no pasó mucho tiempo antes de que algunos marinos consideraran la posibilidad de navegar directamente hasta la punta austral de África y alcanzar India y las riquezas del comercio de especias.[2]

Después, a finales del siglo XV, los reinos de Castilla y Aragón se unieron en lo que se convertiría en la España moderna. En 1492 completaron la Reconquista de la península al capturar el último reducto moro de Granada, y se unieron a Portugal en la búsqueda de nuevas rutas comerciales de ultramar y nuevos territorios a través del Atlántico.(74)

Volta do mar

En el Atlántico, a una cierta distancia de las costas europeas y africanas, se encuentran cuatro pequeños archipiélagos: las islas Canarias, las Azores, Madeira y las islas de Cabo Verde. Para los romanos, las islas Canarias señalaban el final del mundo conocido,(75) pero parece que el conocimiento de estas islas se perdió durante la Alta Edad Media; desaparecieron literalmente de los mapas. Fueron redescubiertas y exploradas junto con los demás archipiélagos, hasta entonces desconocidos, a finales del siglo XIV y principios del XV, cuando marinos portugueses y españoles empezaron a aventurarse más allá de la península Ibérica.[4] Descubrieron que las islas Canarias, a solo unos cien kilómetros de la costa de Marruecos, ya estaban pobladas por tribus indígenas, descendientes probablemente de bereberes de África del Norte, pero las islas Azores y de Cabo Verde, más remotas, estaban deshabitadas cuando los portugueses llegaron a ellas.

Los marinos ibéricos pronto encontraron la corriente de Canarias, que los transportaba al sudoeste a lo largo de la costa africana. En torno a los 30º de latitud captaban los vientos dominantes del nordeste, que los conducían hasta las islas Canarias. Este trayecto a lo largo del litoral de Marruecos, propiciado por vientos y corrientes favorables, era una antigua ruta marítima que los fenicios habían usado para comerciar a lo largo de la costa noroccidental de África con sus galeras, que también estaban dotadas de bancos de remos. El problema para los marinos europeos que se aventuraban en esta ruta dos mil años más tarde era

cómo volver a casa. Los barcos de vela no necesitan equipos de remeros que se esfuercen, y por ello pueden transportar más provisiones y artículos con los que comerciar, pero luchan para avanzar contra corrientes o vientos adversos.

La innovación fundamental que desarrollaron los navegantes portugueses se denominaba *volta do mar*, la «vuelta —o retorno— del mar». Con el fin de volver hacia el nordeste hasta Portugal desde la costa de Marruecos o de las Canarias, se dirigían al oeste y penetraban en la vastedad del océano Atlántico. Quizá parezca una paradoja a primera vista, pero la corriente de Canarias se debilita mar adentro, y, tan pronto como los barcos se hallaban a unos 30º de latitud norte, podían captar los vientos dominantes del sudoeste y aprovecharlos para volver directamente a su hogar. Así, en su viaje de vuelta desde las Canarias, estos marinos sacaron partido de las diferentes regiones de corrientes oceánicas y de circulación atmosférica. Resulta que estas islas se encuentran cerca de la región de la Tierra donde los vientos alisios del nordeste dejan paso a los del sudoeste.

Volveremos a ello más tarde, pero en este punto vale la pena explicar una peculiaridad desconcertante de la manera en que se da nombre a los vientos y a las corrientes oceánicas. Se alude a un viento por la dirección desde la que sopla, de modo que uno norteño sopla desde el norte hacia el sur. Las corrientes oceánicas, en cambio, reciben su nombre por lo contrario, por la dirección hacia la que se dirigen. Así, una corriente norteña llega desde el sur y nos transporta hacia el norte. Esto puede generar una gran confusión, pero tiene cierta lógica. Cuando se está en tierra, un aspecto importante es la dirección desde la que llega el viento; lo que cuenta es desde dónde llega una tormenta o la dirección en la que es necesario girar un molino de viento. Pero, para un barco que es desplazado por una corriente oceánica, lo que es importante es adónde nos lleva, especialmente si es hacia un arrecife o un bajío que puede hacernos naufragar.[5]

Si trazamos un rumbo amplio y circular de *volta do mar* por el océano abierto para volver a la costa ibérica desde las Canarias, llegaremos a Madeira. Aunque en realidad este archipiélago se encuentra más cerca de Portugal, se descubrieron

primero las Canarias, pues los vientos dominantes del nordeste condujeron directamente allí a los barcos europeos desde el estrecho de Gibraltar. A medida que sucesivas expediciones portuguesas navegaban más y más lejos siguiendo la costa africana, emprendían rumbos de *volta do mar* cada vez más amplios hacia el centro del Atlántico, y fue así como encontraron las Azores. Este archipiélago se encuentra a unos 800 kilómetros de las costas de la península Ibérica, y desde allí otra corriente oceánica, la de Portugal, llevaba a los barcos de nuevo a puerto. Finalmente, las islas de Cabo Verde, que se encuentran en aguas del promontorio occidental del continente africano, en el punto en que el desierto del Sáhara deja paso a la densa pluviselva tropical de África central (como recuerda el nombre de las islas), fueron descubiertas por los portugueses en 1456.

A diferencia de islas tales como la de Wight, Mallorca o Sri Lanka, que se hallan sobre la plataforma continental pero han quedado separadas del continente por la subida del nivel del mar, estos archipiélagos del Atlántico están aislados en el océano; son las cumbres de volcanes que surgen del fondo del mar.[6] De hecho, las Azores son las cumbres de los volcanes más altos de la dorsal mesoatlántica, el gran desgarrón de la corteza oceánica que se expande y se extiende hasta Islandia.[7](76)

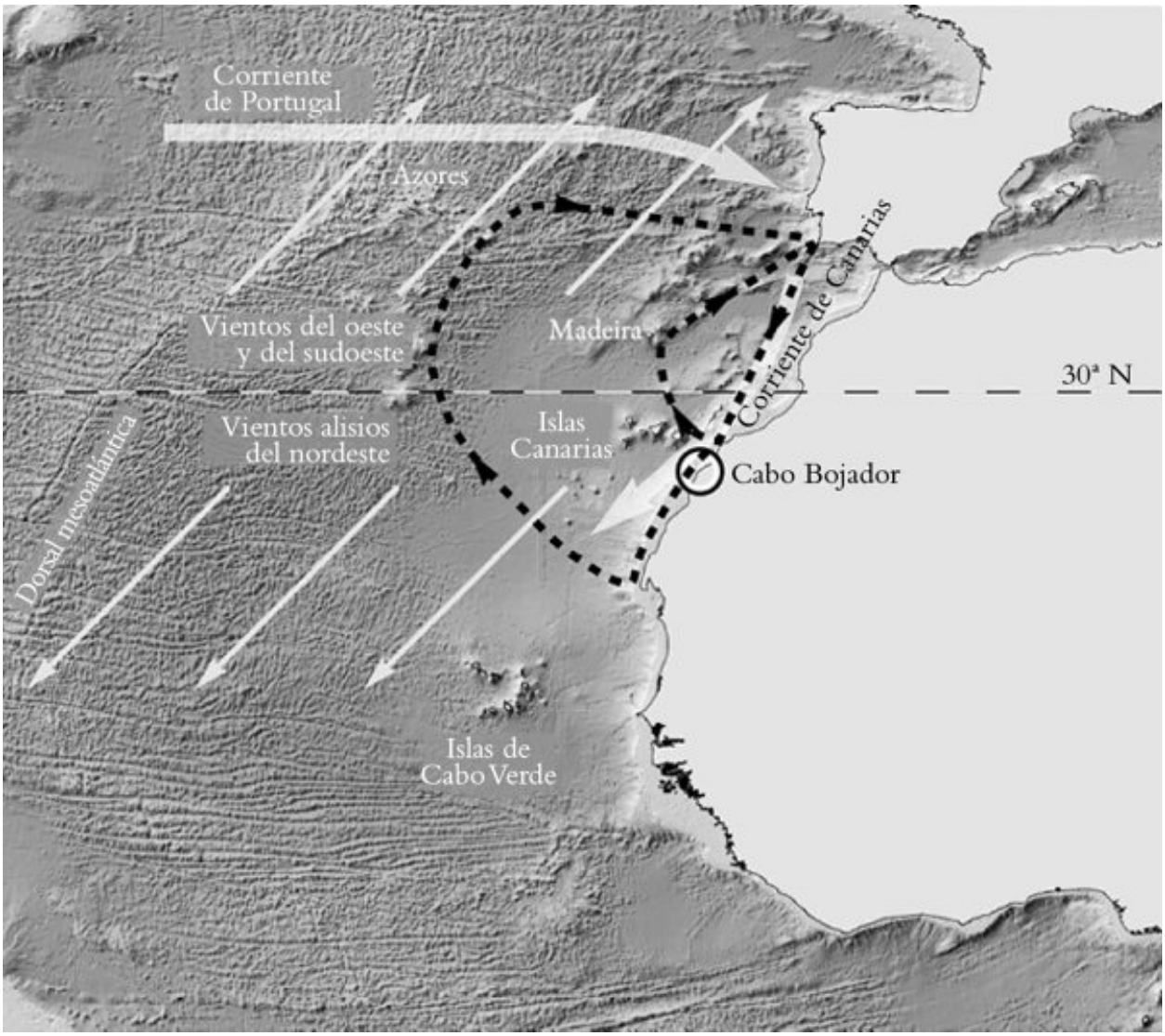


FIGURA 19. Los archipiélagos del Atlántico y un ejemplo de rutas de *volta do mar* que explotan diferentes regiones de vientos y corrientes.

Estas islas atlánticas proporcionaron importantes escalas oceánicas a los exploradores ibéricos; eran pasos intermedios en el océano. Las Canarias, en particular, suponían una parada vital para embarcar provisiones y agua dulce, lo que permitía a las naves emprender viajes más largos.[8] Las Azores ejercían una función similar en la ruta de vuelta a casa. La navegación inicial entre la costa africana y esta serie de archipiélagos servía también como banco de pruebas crucial, que permitía a los marineros europeos ser cada vez más diestros y tener mayor confianza con vistas a acometer viajes más largos hacia lo

desconocido. Fue entonces cuando empezaron a comprender la circulación a gran escala que se da en los océanos y en la atmósfera del planeta, y cómo explotar estas pautas de las corrientes y los vientos.

Sin embargo, las islas atlánticas también se volvieron valiosas desde el punto de vista económico por derecho propio. El clima y los suelos volcánicos ricos hacían que fuesen perfectas para cultivar en ellas plantas como la caña de azúcar.[9] Al principio Madeira estaba densamente arbolada (tomó su nombre del término portugués para «madera»),[10] pero los bosques fueron enseguida desforestados por los marinos portugueses y la tierra se dedicó al cultivo de vid y caña de azúcar. A finales del siglo XV, Madeira producía casi 1.400 toneladas de azúcar al año,[11] en plantaciones en las que trabajaban esclavos traídos del continente africano. De modo que las islas atlánticas desempeñaron un papel fundamental en la era de la exploración, pero su «descubrimiento» presagió también los peores aspectos de la expansión europea: conquista territorial, colonialismo y plantaciones en las que trabajaba mano de obra esclava.

Hacia el cabo de las tormentas

Si se observa un mapa, el cabo Bojador aparece como poco más que una protuberancia en la línea costera convexa de África occidental. Pero durante un tiempo este promontorio de aspecto inocuo y repleto de dunas fue considerado el punto más meridional al que era posible navegar a lo largo de la costa africana; traicionero para la navegación, en árabe se lo conocía como Abu Jatar, «el Padre del Peligro».[12]

La tradición marítima de la época establecía que los barcos se ciñeran a la costa. Permanecer cerca del litoral daba acceso regular a comida y agua dulce y, más importante aún, proporcionaba puntos de referencia para la navegación. Pero en los alrededores del cabo Bojador los vientos suaves que soplan a lo largo de Marruecos dan paso a ventarrones del este que amenazan con arrastrar

cualquier barco a mar abierto.(77) Además, un ancho banco de arena sumergido se adentra unas veinte millas en el mar, lo que reduce la profundidad del agua a unos pocos metros. Así, un barco que pierda de vista la costa para sortear este peligro se arriesga a verse afectado por corrientes más fuertes y ser arrastrado cada vez más lejos mar adentro.[13]

Pero entonces, en 1434, el navegante portugués Gil Eanes dio con una nueva técnica revolucionaria que le permitió rodear el cabo Bojador; es lo que en la actualidad se conoce como «navegación por corriente». Para navegar en una dirección determinada con vientos complejos y corrientes oceánicas, hay que tener en cuenta la desviación de la ruta del barco como consecuencia de la corriente que no se ve. La única manera en que Eanes pudo hacerlo fue medir de manera meticulosa tanto la dirección como la velocidad de la corriente en las islas Canarias antes de hacerse a la mar y después, en varios puntos a lo largo del trayecto, arriar las velas o soltar el ancla para efectuar una lectura de la corriente del lugar y hacer las correcciones necesarias del rumbo. Eanes debió de adivinar inicialmente la ruta compensatoria que tenía que seguir o quizá incluso la calculó, como harían los marinos modernos, dibujando un triángulo en su carta náutica: marcando tanto la línea entre su posición y su destino como la línea de desviación de la corriente, y uniendo estas con una tercera línea que mostrara la ruta real que tenía que seguirse para compensar la corriente. Así, los marinos portugueses que querían comprender las pautas del océano conquistaron el cabo Bojador, y, a medida que empezaron a dominarlas, aumentó su confianza para navegar más lejos de la costa.

Una vez descubierto el camino más allá del cabo Bojador, sucesivas expediciones portuguesas avanzaron cada vez más a lo largo de la costa de África occidental y descubrieron el río Senegal y el archipiélago de Cabo Verde. Hacia 1460 los portugueses, que habían navegado tres mil kilómetros siguiendo la costa africana, empezaron a bordear la gran protrusión abultada de África occidental para penetrar en el golfo de Guinea.[14] Allí la corriente de Guinea los llevó hacia el este, pero los exploradores se encontraron con que los vientos

dominantes del nordeste que habían sido un compañero fiel a lo largo de todo el camino desde que habían dejado las islas Canarias los abandonaban. Ahora tenían que habérselas con los vientos suaves y variables de las calmas ecuatoriales.

En 1474, capitanes portugueses alcanzaron el punto en el que la costa africana se dirigía de nuevo hacia el sur, y cuando poco después cruzaron el ecuador perdieron de vista Polaris, la Estrella Polar. Se trata de una estrella brillante de la constelación de Ursa Minor (la Osa Menor) que está directamente sobre el Polo Norte. Si queremos deducir nuestra latitud (a qué distancia al norte del ecuador nos hallamos) basta simplemente con medir el ángulo entre la Estrella Polar en el cielo nocturno y el horizonte. Pero, como ahora la estrella desaparecía de la vista, los marinos penetraban no solo en aguas que no estaban cartografiadas, sino en partes nuevas y extrañas del mundo donde ni siquiera sus técnicas de navegación funcionaban. El término portugués que se refería al hecho de haber perdido de vista la Estrella Polar era *desnorteado* (haber «perdido el norte»), y pronto tomó el significado más general de estar perdido o confundido.[15](78) Con todo, cuando los marinos portugueses continuaron bordeando la costa africana hacia el sur, en el horizonte opuesto vieron la Cruz del Sur, una brillante constelación que podía desempeñar la misma función de guía en el hemisferio sur.[16]

A medida que continuaban con su búsqueda del extremo austral de este continente misterioso, cada misión se detenía regularmente para recabar información sobre la geografía, los idiomas y, muy en especial, los artículos de la zona con los que se podía comerciar. Las naves también llevaban columnas de piedra que los portugueses erigían en el punto más alejado de la costa al que llegaban en cada expedición. No solo pretendían que permitieran efectuar reclamaciones territoriales para la gloria de la corona, sino que también servían como un marcador visible que los viajeros posteriores pudiesen superar.[17] Estos pequeños monumentos, transportados en la bodega de las carabelas que cabeceaban y se inclinaban mientras navegaban hacia nuevas fronteras, fueron el

equivalente del siglo XV de las banderas que los astronautas estadounidenses llevaron en las misiones Apollo a la Luna.

Pero doblar por vez primera con éxito la punta de África requirió algo muy distinto de este lento sondeo por toda la costa; requirió un enfoque radicalmente nuevo.

A finales del verano de 1487, Bartolomeu Dias zarpó de Lisboa, rebasó las islas Canarias, rodeó el cabo Bojador y siguió la ruta a lo largo de la costa africana, con la que ahora estaba familiarizado tras décadas de exploración portuguesa. Después de cuatro meses en el mar, Dias había sobrepasado la columna de piedra que marcaba el punto más distante que las expediciones previas habían alcanzado. Cuando continuó siguiendo la línea costera, dio nombre a las bahías y los cabos que encontraba en función de los santos del calendario: golfo de Santa Marta (8 de diciembre), Santo Tomé (21 de diciembre), Santa Vitória (23 de diciembre) y así sucesivamente, como fechas estampilladas que marcaban su avance sobre la carta marina. El día de Navidad bautizó el golfo de San Cristóbal, el santo patrón de los viajeros.[18]

A lo largo de todo este litoral, los barcos de Dias habían estado resistiendo flujos adversos, cambiando de bordada contra un viento del sur constante y contra una corriente que se dirigía hacia el norte siguiendo la costa. Entonces Dias tomó una decisión radical. Apartó a sus barcos de la costa y los dirigió al vasto océano, viendo como la comodidad y la seguridad del litoral se desvanecían tras el horizonte. Su esperanza era que el mismo truco necesario para volver a casa desde la costa norteafricana contra la corriente de Canarias (dirigiéndose mar adentro en una ruta circular de *volta do mar* para captar los vientos del oeste) funcionara también en el Atlántico Sur para llevarlos más allá del extremo austral de África y encontrar el paso hacia Oriente.

El destello de intuición de Dias surtió efecto, y hacia los 38º sur los esperados vientos del oeste empezaron a repuntar. Finalmente los barcos se dirigieron hacia el este con ellos, y, después de navegar casi un mes por las monótonas

extensiones del Atlántico Sur, pudieron tocar tierra. Al seguir la línea costera se dieron cuenta de que el litoral se dirigía hacia el nordeste; habían rodeado con éxito la punta austral de África y se hallaban en el lado opuesto del vasto continente. Pero, a punto de agotarse las provisiones a bordo, Dias se vio obligado a erigir su última columna marcadora y a volver a casa. No fue hasta este viaje de retorno cuando pudo ver realmente lo que creyó que era el extremo meridional del continente. Lo bautizó como cabo de las Tormentas, lo cual reflejaba las condiciones turbulentas en la unión de los océanos Atlántico e Índico. A su vuelta a Portugal, el rey Juan II lo rebautizó como cabo de Buena Esperanza para no desanimar a las nuevas oleadas de exploradores.[19](79)

El viaje de Dias habría de cambiar el curso de la historia. En primer lugar, había confirmado que Ptolomeo, el geógrafo clásico, se había equivocado y que África tenía un final; así, una ruta marítima que, saliendo de Europa, permitiera alcanzar las riquezas del océano Índico sorteando el mundo islámico no era en absoluto impracticable. Pero en segundo lugar, e igual de importante, Dias había descubierto la banda de vientos de poniente del Atlántico Sur que pueden permitir a los marinos rebasar con seguridad la punta del continente.[21] En lugar de ceñirse a la línea costera africana y luchar contra las corrientes que van hacia el norte después de cruzar el ecuador, la solución es trazar un amplio rumbo circular hacia el centro del Atlántico. El mismo truco de la *volta do mar* desarrollado para retornar de las islas Canarias en el Atlántico Norte funciona también en el Atlántico Sur; las bandas de vientos de los hemisferios norte y sur son imágenes especulares una de la otra. Esto dio a los navegantes europeos la primera vislumbre de las pautas de circulación a gran escala que se dan en los océanos y en la atmósfera del planeta, que pronto llegarían a comprender más profundamente y empezarían a explotar.

Un nuevo mundo

Mientras que los portugueses habían encontrado una ruta que rodeara la punta austral de África, un navegante genovés intentaba recabar apoyos para un viaje que iba a dirigirse en la dirección opuesta; creía poder alcanzar Oriente navegando hacia el oeste. Finalmente encontró el patrocinio de la reina Isabel de Castilla, quien en 1469 se había casado con el rey Fernando II de Aragón para unificar sus reinos y formar España. Sus patrocinadores lo conocían como Cristóbal Colón.

Al contrario de lo que se supone por lo general en la actualidad, no había persona culta en la época medieval que creyera que la Tierra es plana. En el siglo III a. C., Eratóstenes, un geógrafo, astrónomo y matemático griego que trabajaba en la Biblioteca de Alejandría, comprendió que el mundo es una esfera y calculó que su circunferencia era de 250.000 estadios, alrededor de 44.000 kilómetros, cifra notablemente cercana al valor real. De hecho, las técnicas de navegación celeste que emplean los marinos para determinar la latitud a partir de las estrellas se basa en el principio de que la Tierra es esférica. Colón tampoco fue la primera persona que propuso que se podía llegar a India navegando hacia el oeste desde Europa; el geógrafo romano Estrabón había sugerido lo mismo en el siglo I d. C. Y existían pruebas de que algo había, en efecto, más allá del horizonte acuático. Noticias procedentes de las islas atlánticas describían restos flotantes llegados del oeste: árboles desconocidos, canoas y cadáveres de personas cuyo aspecto no era europeo ni africano.[22]

Con el fin de conseguir apoyo financiero para su expedición, Colón tuvo que convencer a patrocinadores potenciales de que el viaje propuesto era realizable. Pero ¿cómo era posible estimar la distancia que sería necesario recorrer hacia el oeste desde el borde de Europa hasta China o India antes de haber realizado dicho viaje? La solución era empezar por la circunferencia del mundo calculada por entonces y después restar la distancia por tierra desde Europa hasta Oriente; la anchura aproximada de Eurasia se conocía gracias a quienes viajaban por la Ruta de la Seda. El problema es que dichos cálculos daban una distancia

oceánica hacia el oeste de unos 19.000 kilómetros, o unos cuatro meses de navegación con vientos favorables. Semejante viaje era del todo imposible en aquella época. Sencillamente, los barcos no podían llevar los alimentos y el agua necesarios para mantener viva a la tripulación durante tanto tiempo en mar abierto, sin tocar tierra para hacerse con provisiones frescas.

Para no tener que tirar la toalla, Colón recurrió al tipo de juego de manos que usa cualquier creyente intransigente absorbido por la fuerza de sus convicciones: falseó los números. Tomó el cálculo más bajo de la circunferencia de la Tierra de que se disponía en aquella época, junto con la estimación de la anchura de Eurasia más favorable a sus intereses, y llegó a una distancia por mar hacia el oeste notablemente menor. Empleó las mediciones de Paolo dal Pozzo Toscanelli, un matemático y cartógrafo florentino, que no solo estimaba muy a la baja la circunferencia del globo, lo que hacía que este fuera un tercio menor de lo que es realmente, sino que también creía que Japón se encontraba a 2.400 kilómetros al este de China, con lo que sería posible dividir en etapas el largo viaje por mar. Colón afirmaba que llegaría a tierra, a las islas situadas frente a Japón, tras haber recorrido solo 3.900 kilómetros desde las islas Canarias, algo que supondría nada más que un mes de navegación. De hecho, aseguraba que Oriente no se encontraba muy lejos del horizonte tras haber zarpado de las Azores.[23] Nunca consideró la posibilidad de que en el camino hubiera un continente desconocido; según sus cálculos, simplemente no había espacio para que existiera uno en los mares occidentales.

Sin embargo, los portugueses rehusaron patrocinar la empresa. Los asesores del rey Juan II consideraban que Colón infravaloraba peligrosamente las cifras y que su propuesta era temeraria. Y, en cualquier caso, Bartolomeu Dias acababa de rodear con éxito el cabo de Buena Esperanza y había mostrado a Portugal la puerta abierta al océano Índico a través de la ruta africana. Los genoveses, los venecianos y los ingleses también se negaron a implicarse; pero, al final, la incesante presión de Colón sobre la corte española dio sus frutos. A la reina Isabel se le aconsejó que, aunque la propuesta podía entrañar un riesgo elevado,

también ofrecía la posibilidad de ganancias enormes. Y fue entonces cuando cierto grado de suerte histórica ciega jugó en favor de la buena fortuna de Colón.

El Tratado de Alcáçovas de 1479, que puso fin a la guerra de Sucesión Castellana, había adjudicado las islas Canarias a Castilla, mientras que los portugueses habían conservado Madeira, las Azores y las islas de Cabo Verde. Este acuerdo les favoreció claramente en el Atlántico, y a los barcos castellanos se les prohibió navegar hasta dichos archipiélagos; de hecho, a los portugueses se les concedieron derechos exclusivos sobre cualesquiera tierras que se hubieran descubierto o se descubrieran al sur de las islas Canarias. Si Castilla quería colmar sus intereses territoriales o comerciales, los capitanes deberían dirigirse al oeste. Y resulta que las Canarias ofrecían el punto de partida ideal para los barcos que navegaran en dicha dirección por el Atlántico.

Si el rey Juan II hubiera aceptado la propuesta de Colón, este se habría embarcado en su audaz viaje hacia el oeste desde las Azores. Al hallarse a unos 850 kilómetros más al oeste de Madeira y de las Canarias, ahora sabemos que estas islas se encuentran aproximadamente a un tercio del camino entre el límite de Europa y la costa americana. Pero las Azores también se hallan más al norte que las demás islas atlánticas, y a esa latitud los vientos dominantes soplan hacia el este y son desfavorables para cualquier travesía atlántica. Las islas Canarias, sin embargo, se encuentran en la zona de los vientos alisios del nordeste que soplan directamente hasta el Caribe. Por una chiripa histórica, el apoyo de Isabel (y el Tratado de Alcáçovas) hicieron que Colón intentara su travesía desde un archipiélago que se encuentra a barlovento de las Américas. Si su expedición se hubiera hecho a la mar desde las Azores, es probable que hubiese perecido en medio del océano.[24]

El 3 de agosto de 1492, las tres naos de Colón soltaron amarras en el puerto de Palos de la Frontera y navegaron hacia el sudoeste, rumbo a las islas Canarias. Allí el genovés se reabasteció de provisiones, hizo algunas reparaciones y después mandó que sus naos pusieran rumbo a poniente. Transportados por los vientos alisios del este sobre la extensión uniforme del océano Atlántico,

recalaron cinco semanas después en las Bahamas.(80) Después Colón continuó hacia el sudoeste para explorar las costas de Cuba y La Española. Allí oyó hablar de un pueblo que habitaba el arco insular de las Antillas Menores al que los españoles llamaron *cariba* o *caniba*, términos de los que derivan las palabras «Caribe» y «caníbal».(81)

Tras cuatro meses explorando estas islas, Colón estaba preparado para volver a casa y recibir la riqueza y la gloria que anhelaba. Pero ¿cómo hacerlo desde un lugar al que nunca antes se había llegado por mar? Trató primero de regresar simplemente por el mismo camino, pero pronto se dio cuenta de que sus naos iban a tener muchas dificultades para seguir una ruta en la que tendrían que afrontar los mismos vientos del este que les habían impulsado en el viaje de ida, y de que se arriesgaban a quedarse sin provisiones antes de alcanzar tierra. Decidió, en cambio, dirigirse hacia el norte, y en las latitudes medias captó la misma banda de vientos del oeste que soplan más allá de las Azores, y estos lo llevaron de vuelta a Europa. Por lo tanto, la expedición de Colón hubiera sido imposible sin el conocimiento atesorado por los marinos portugueses de que los vientos soplan en direcciones opuestas en bandas de latitud colindantes, que habían obtenido gracias a sus esfuerzos metódicos por remontar la costa africana durante décadas, antes de que Colón hubiera nacido siquiera.[25] Atravesar el Atlántico en pleno invierno expuso a los agotados marineros a tormentas terribles, pero al cabo de un mes de navegación las naos de Colón llegaron sin incidentes a las Azores[26] y desde allí retornaron a España.

Colón efectuó un total de cuatro viajes hacia el oeste y cartografió las cadenas de islas tropicales del Caribe, pero no fue hasta la tercera expedición cuando puso pie finalmente en el continente americano, en lo que en la actualidad es Venezuela. Aun así, hasta el fin de su vida siguió sosteniendo que había llegado a Oriente.[27]

A principios del siglo XVI, los marinos europeos habían cartografiado docenas de islas oceánicas, así como la larga costa sudamericana que continuaba más allá

del ecuador y sus grandes ríos, lo cual sugería que estos desaguaban procedentes de una extensa zona interior. Otros exploradores informaron asimismo de grandes masas continentales en el distante norte. Alarmado por la supuesta nueva ruta de España a Asia a lo largo de la latitud de las islas Canarias, el rey Enrique VII de Inglaterra envió una expedición para encontrar una ruta alternativa a través del Atlántico Norte encabezada por el navegante veneciano Giovanni Caboto (o Juan Caboto), que llegó a Terranova.

Resultaba evidente que Colón no había llegado a Oriente, entonces ¿qué había descubierto realmente? Los europeos empezaron a caer en la cuenta de que todas las tierras ubicadas al oeste quizá fuesen una línea costera continua y de que habían dado no con una serie de nuevas islas, sino con todo un continente; todo un Nuevo Mundo.

La máquina global de los vientos

Los portugueses habían pasado casi un siglo entero abriéndose camino lentamente a lo largo de la costa de África antes de que al final encontraran su extremo austral y la puerta al océano Índico. Ahora, una generación después del descubrimiento de las Américas en 1492, los marinos europeos se aventuraban por todos los océanos del mundo y completaron la primera circunnavegación de la Tierra. Era una revolución que anunciaba el nacimiento de la economía global de hoy en día.

Todo ello solo fue posible porque los marinos habían conseguido entender las pautas por las que se rigen los vientos y las corrientes más favorables, que en adelante determinaron las rutas comerciales que aportarían grandes riquezas a Europa. Pero ¿qué es lo que causa estas bandas alternas de vientos dominantes en todo el mundo, que a su vez impulsan las grandes corrientes circulares en los océanos?

La parte más cálida de la Tierra es el ecuador, que recibe más radiación solar

directa a lo largo del año. Cerca de la superficie ecuatorial el aire se caldea y se eleva, pero a medida que asciende se enfría, la humedad se condensa en nubes y después cae en forma de lluvia. A una altitud elevada, la masa de aire que se enfría diverge y se dirige al norte y al sur, como un cruce en T en la alta atmósfera. Cada uno de estos ramales de aire recorre unos tres mil kilómetros antes de descender de nuevo al suelo, ahora muy seco, alrededor de los 30º de latitud (aproximadamente a un tercio de la distancia entre el ecuador y el polo), tanto en el hemisferio norte como en el sur. Estas dos bandas que rodean la Tierra se conocen como las «altas subtropicales», porque el aire que desciende allí crea una presión ligeramente mayor. El aire cálido que se eleva desde el ecuador, en cambio, deja tras de sí una región de bajas presiones.

Desde las altas subtropicales, a 30º de latitud, el aire se desplaza de nuevo hacia el ecuador en forma de vientos superficiales para completar este gran circuito vertical. Esta zona de vientos regulares, que tan importante fue para los europeos que atravesaban el océano en dirección a las Américas, es una manifestación del mismo patrón de circulación atmosférica que da lugar a las grandes bandas mundiales de pluviselvas tropicales y de desiertos de latitudes medias que hemos comentado en el capítulo anterior. Estos dos inmensos patrones atmosféricos circulares —corrientes de convección exactamente iguales que las que se producen alrededor de nuestro calefactor en casa—, se conocen como «células de Hadley» y operan como engranajes acoplados, separados por el ecuador y girando en direcciones opuestas. El movimiento de las células de Hadley, accionado por el caldeamiento ecuatorial, es un gran motor térmico, en principio igual que el de una máquina de vapor o el motor de combustión interna de nuestros automóviles, aunque con una energía de 200 billones de vatios,[28] diez veces mayor que toda la energía que usa actualmente la civilización humana.

Pero hay otro aspecto importante de nuestro planeta que influye en los vientos. La Tierra, y su atmósfera, giran. Puesto que es una esfera sólida, la superficie en el ecuador se desplaza más deprisa que la que se halla a latitudes

superiores. Así, cuando el aire retorna desde la zona de altas presiones subtropicales hacia el ecuador, el suelo que de debajo gira hacia el este cada vez más deprisa. Existe cierta fricción entre el suelo y la atmósfera que empieza a arrastrar el aire junto con la superficie, pero este no puede cobrar velocidad lateralmente con la rapidez suficiente cuando se desplaza, de modo que los vientos que soplan hacia el ecuador son dejados atrás por la superficie en rotación. El resultado es que acaban siendo desviados en una trayectoria que se curva suavemente hacia el oeste; es el llamado «efecto de Coriolis», que influye sobre cualquier cosa que se mueva sobre la superficie de una esfera en rotación, por ejemplo, la trayectoria de los misiles balísticos. O, por plantearlo de otro modo, si el lector se imagina balanceándose sobre un barco en aguas tropicales, parece que los vientos dominantes soplan desde el este, pero una descripción más exacta sería que el lector y la superficie de la Tierra están girando rápidamente a través de la atmósfera, y los vientos del este son como el que nos despeina cuando conducimos a toda velocidad un coche con la capota bajada.

Los vientos que soplan en el hemisferio norte son desviados por el efecto de Coriolis a su derecha y los del hemisferio sur, a su izquierda. Así, entre los 30º de latitud norte y el ecuador los vientos dominantes siguen una trayectoria curva hacia el sudoeste, de modo que, según la nomenclatura usada al respecto, se denominan «vientos del nordeste». Y lo mismo ocurre en el hemisferio sur: el aire que se dirige de vuelta hacia el norte a lo largo de la superficie del ecuador es desviado de nuevo hacia el oeste para dar lugar a vientos dominantes del sudeste. Estos del este reciben el nombre de «alisios», y como vientos constantes que soplan en los trópicos han sido muy importantes para los marinos.(82)

A la banda en la que los vientos alisios del nordeste y del sudeste que retornan se encuentran en torno al ecuador los científicos atmosféricos modernos la denominan zona de convergencia intertropical (ZCIT), pero los marinos la conocen como «zona de calmas ecuatoriales». Esta es la región de bajas presiones, caracterizada por vientos suaves o periodos de calma chicha, que encontraron por primera vez los marinos portugueses al cruzar el ecuador en su

viaje a lo largo de la costa africana a finales del siglo XV, y puede ser desastrosa para los barcos mientras esperan a que los vientos soplen de nuevo o a que una corriente oceánica los saque de ella. Pueden encontrarse inmovilizados en la zona de calmas ecuatoriales durante semanas, y en esta región de clima cálido y bochornoso puede significar no solo que el cargamento llegue con retraso a puerto, sino también la muerte si se acaban las reservas de agua dulce a bordo. Samuel Taylor Coleridge evocó la desesperación de los marineros inmovilizados en esta zona del Pacífico en «Balada del viejo marinero»:

Día tras día, día tras día,
atascados, sin brisa ni movimiento;
tan ociosos como una nave pintada
sobre un océano pintado.

Agua, agua por doquier,
y todas las cuadernas se encogían;
agua, agua por doquier,
y ni una gota para beber.(83)

La ubicación de la ZCIT la determina el aire que se eleva al ser calentado por el sol, de modo que cambia al norte y al sur de la línea geométrica del ecuador con las estaciones. Y, puesto que la tierra se caldea más rápidamente que el océano en verano, la banda de la ZCIT se aleja del ecuador cerca de los continentes, por lo que sigue una trayectoria sinuosa, serpenteante, en torno a la cintura del mundo. Esto hace que la situación y la anchura exactas de la ZCIT sean difíciles de predecir, y aumenta el riesgo de que los marinos queden atrapados en la zona de calmas ecuatoriales.

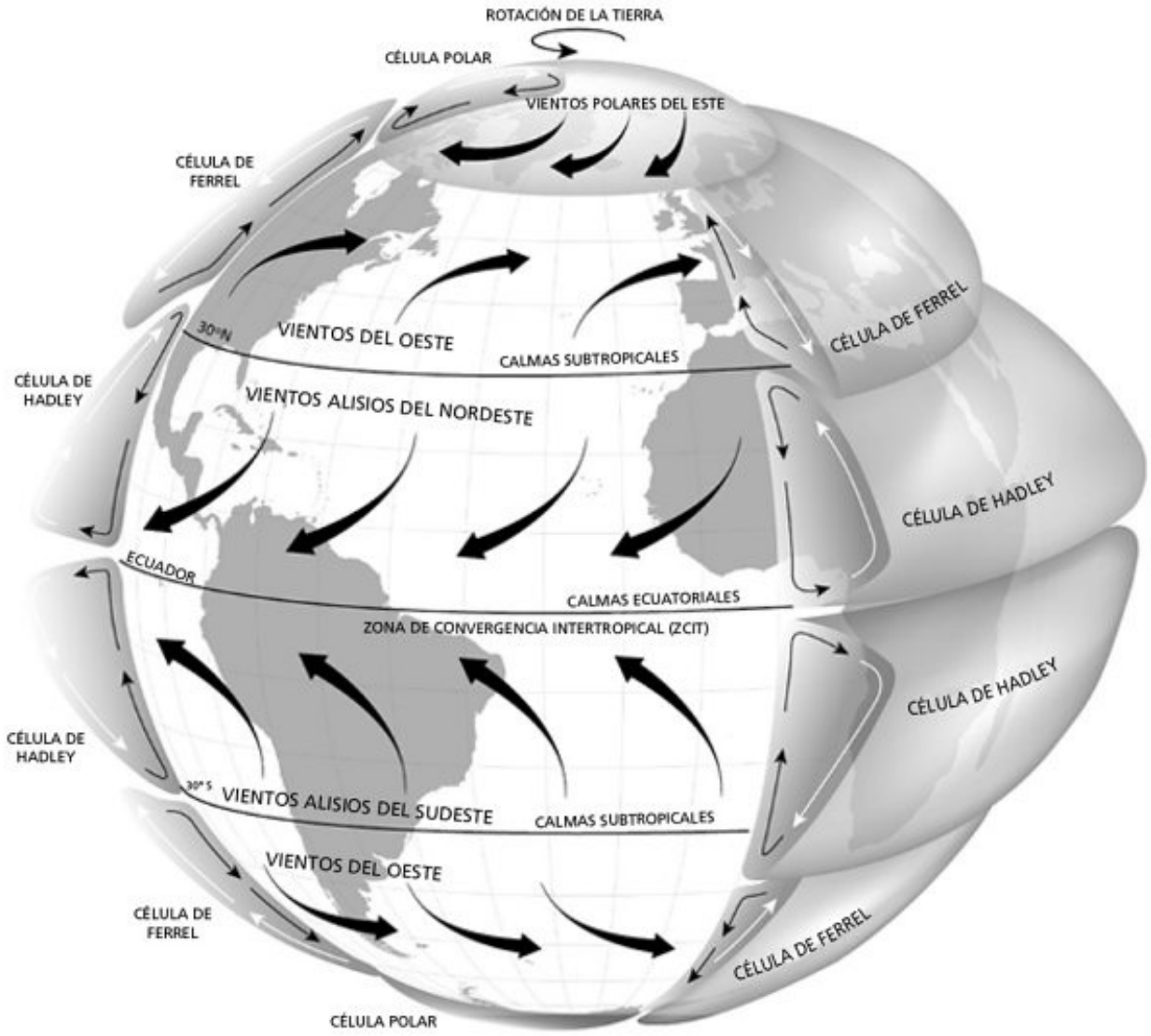


FIGURA 20. Las grandes corrientes de circulación de la atmósfera terrestre que crean las bandas alternas de vientos dominantes.

Más allá de los 30º de latitud de los brazos descendientes de las células de Hadley, más o menos a 60º de latitud norte o sur, el aire de superficie, aunque más frío que en el ecuador, es todavía lo bastante cálido para ascender en la atmósfera y accionar otro bucle de convección. Y, al igual que en el caso de las células de Hadley, los vientos de superficie que soplan hacia el ecuador en la base de este bucle son desviados ligeramente hacia su derecha por el efecto de Coriolis, y producen la banda de vientos denominada «vientos polares del este».

El tercer y último par de grandes corrientes de circulación en la atmósfera de la Tierra son las dos células de Ferrel, que operan a latitudes medias, entre los 30º y los 60º. Pero, a diferencia de los otros dos, el sistema de Ferrel es pasivo; no está impulsado directamente por su propio aire caliente ascendente, sino por el giro de las células de Hadley y polar entre las cuales se sitúa. Es casi como un engranaje independiente obligado a girar por dos ruedas dentadas que hacen lo propio a cada lado de aquel. Allí donde coinciden los brazos descendentes de las células de Ferrel y de Hadley, alrededor de los 30º de latitud norte y sur, forman dos crestas subtropicales de presiones altas conocidas como «zona de calmas subtropicales». Estas regiones se caracterizan asimismo por vientos suaves y variables o condiciones de calma; y, al igual que en el caso de las zonas de calmas tropicales, los marinos aprendieron a desconfiar de ellas.

Puesto que la célula de Ferrel es accionada por las células de Hadley y polar a cada lado, gira en la dirección opuesta, algo que ha tenido una importancia enorme en la era de la navegación a vela. Los vientos de superficie de las células de Ferrel soplan no hacia el ecuador, sino hacia los polos, de modo que el efecto de Coriolis los desvía en la dirección opuesta; se trata de la zona de los vientos del oeste. Dos bandas de viento de latitud diferente soplan hacia el oeste (los alisios de la célula de Hadley y los vientos polares del este), pero si queremos navegar a vela hacia el este solo podemos hacerlo dentro de los dominios de las dos células de Ferrel y de los vientos de superficie del oeste que producen. Esta es la ruta de retorno a Europa desde América central y Norteamérica, de la que se sirvió por primera vez Colón cuando se hubo dado cuenta de que necesitaba navegar hacia el norte, hacia esta zona, para volver a casa.

La zona de vientos del oeste ha resultado ser asimismo vital en el hemisferio sur. Tal como se ha indicado anteriormente, debido a una peculiaridad de la distribución actual de los continentes como resultado de la tectónica de placas, el hemisferio norte está lleno de masas continentales, cuyas cordilleras alteran el flujo de los vientos. El hemisferio sur, en cambio, está dominado por el océano abierto, libre de cortavientos. En particular, por debajo de los 40º

aproximadamente, solo el extremo austral de Sudamérica y las dos islas de Nueva Zelanda impiden que los vientos del oeste soplen de manera ininterrumpida alrededor del mundo. En consecuencia, en el sur los vientos del oeste tienden a ser mucho más fuertes que sus equivalentes del norte, y los marinos llamaron a esta zona los Rugientes Cuarenta. Es más, si se atrevían a ir más al sur, arriesgándose a encontrar vientos y un oleaje violentos, un clima glacial y la amenaza de los icebergs, los navegantes podían sacar partido de los todavía más fuertes Furiosos Cincuenta o Aulladores Sesenta.

Esta pauta de bandas alternas de vientos entre el ecuador y los polos también impulsa las corrientes de los océanos del planeta, que han tenido asimismo una importancia enorme a la hora de unir el mundo con enormes redes comerciales. Las zonas colindantes de los vientos alisios del este y los del oeste soplan sobre las aguas superficiales en direcciones opuestas. Esto, unido al hecho de que los continentes bloquean el movimiento del agua para que esta no dé simplemente vueltas alrededor del mundo, y de que la que se desplaza por el globo hacia el norte o hacia el sur también nota el efecto de Coriolis, crea grandes corrientes superficiales giratorias conocidas como «giros oceánicos». Existen cinco grandes giros, en el Atlántico Norte y Sur, en el Pacífico Norte y Sur, y en el océano Índico. Estos giros oceánicos ruedan en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el sur, y, al igual que la dirección de las bandas de vientos, cada uno de ellos es la imagen especular del que hay al otro lado del ecuador.

La corriente de Canarias, que recorre la costa de África del Norte, era bien conocida por los marinos fenicios y después por los ibéricos, tal como hemos visto anteriormente. Este es el brazo oriental del giro que circula en el Atlántico Norte; la corriente del Golfo, que aporta aguas cálidas procedentes del Caribe hasta la costa europea, forma el brazo occidental. La corriente del Golfo fue descubierta en 1513, cuando exploradores españoles que navegaban hacia el sur a lo largo de la costa de Florida se dieron cuenta de que eran empujados hacia atrás a pesar de que soplaba un fuerte viento de popa. (Puesto que el agua es

mucho más densa que el aire, incluso una corriente oceánica moderada puede tener un efecto mucho mayor que el viento sobre un barco de vela.) Las implicaciones comerciales fueron comprendidas enseguida: los galeones, que solían ir muy cargados, solo tenían que deslizarse por este río amplio y de rápido flujo situado dentro del océano para ser transportados rápidamente hacia el norte y después virar con los vientos del oeste y volver a casa.[29] La corriente de Brasil, que recorre la costa oriental de Sudamérica, es la imagen especular y la contraparte de la corriente del Golfo, y lleva los barcos hacia el sur, a la zona de los vientos del oeste, que estos captan para bordear África y penetrar en el océano Índico.(84)

Así que, en general, en cada hemisferio la atmósfera que envuelve al planeta está dividida en tres grandes células de circulación, como tubos gigantes que rodean la Tierra, cada uno de los cuales va girando y se desplaza algo hacia el norte o hacia el sur con las estaciones. Estas células dan lugar a las principales zonas de viento del planeta (vientos alisios del este, vientos del oeste y vientos polares del este), que a su vez impulsan las corrientes oceánicas en circulación. Todo el régimen de vientos de la Tierra puede explicarse en gran medida por tres sencillos hechos: el ecuador es más cálido que los polos, el aire caliente se eleva y el mundo gira.

Esto produce el patrón general de bandas de vientos alrededor del planeta. Pero hay una región en el mundo con un sistema de vientos único que impulsó una próspera red comercial marítima mucho antes de que los europeos dieran con ella.

En los mares de los monzones

Cuando el lector oye la palabra «monzón», es probable que a la mente le vengan imágenes de un paisaje indio verde y húmedo azotado por lluvias torrenciales de gotas grandes y pesadas. El término deriva del árabe *mausim*, que significa

«estación»,[30] y los monzones son desde luego cruciales para las estaciones húmedas y secas que determinan la agricultura en todo el Sudeste Asiático. Pero, desde el punto de vista científico, son el resultado de las condiciones atmosféricas distintivas del sur de Asia y de las pronunciadas inversiones rítmicas en la dirección de los vientos dominantes. He aquí un sistema de vientos completamente diferente de todo lo que los marinos portugueses habían encontrado antes en el Mediterráneo o el Atlántico.

Siguiendo los pasos (o al menos la estela del barco) de Bartolomeu Dias, otro explorador portugués, Vasco da Gama, se hizo a la mar desde Lisboa en el verano de 1497 para completar la ruta marítima a India. Siguió el itinerario que ya era habitual a lo largo de la costa noroeste de África, volvió a aprovisionarse de agua en las islas de Cabo Verde y después rodeó la protuberancia del continente. Pero, en lugar de ceñirse a la familiar línea costera africana y penetrar en la zona de calmas del golfo de Guinea, dirigió sus barcos al sudoeste, a las inmensidades del Atlántico, aumentando la *volta do mar* de Dias en una gran ruta circular que lo llevó a varios miles de kilómetros de la costa.[31] A mucha distancia mar adentro encontró la corriente de Brasil, que lo empujó cada vez más al sur hasta que halló los vientos dominantes del oeste, descubiertos por Dias un decenio antes, los cuales no tardaron en llevarlo de vuelta al este, al extremo meridional de África.

Da Gama y su tripulación habían pasado solo tres meses en el mar y habían recorrido unos diez mil kilómetros por el Atlántico, lo que, con mucho, suponía el viaje más largo en pleno océano efectuado en aquella época. En comparación, Colón había pasado solo treinta y ocho días navegando hacia el oeste antes de que su tripulación, inquieta, se amotinara y exigiera dar la vuelta... solo para avistar tierra dos días después, de manera fortuita.

A continuación Da Gama dobló el cabo, navegando contra la corriente que azota la costa sudoriental africana. El 16 de diciembre de 1497 sobrepasó la última columna de piedra erigida por Dias, y en marzo del año siguiente alcanzó Mozambique, con lo que entró en el ámbito de los comerciantes marítimos

árabes. En el puerto de Malindi, en lo que en la actualidad es Kenia, encontró por primera vez mercaderes indios, y allí Da Gama pudo contratar los servicios de un piloto guyaratí que conocía los entresijos de la navegación por el océano Índico.[32] Se hicieron a la mar a finales de abril y tuvieron la suerte de contar con un viento constante del nordeste (Da Gama no apreciaba todavía la naturaleza de los vientos de los monzones y la providencial sincronización de su viaje), y la flota trazó un rumbo en diagonal que cortaba directamente el océano Índico, dirigiéndose hacia Calicut, en la costa de Malabar. El 29 de abril divisaron la Estrella Polar sobre el horizonte; habían vuelto a entrar en el hemisferio norte. Los barcos de Vasco da Gama llegaron a Calicut el 20 de mayo de 1498, después de haber recorrido más de cuatro mil kilómetros de océano en solo veinticinco días. Finalmente había logrado el sueño de los exploradores portugueses desde hacía décadas y había trazado una ruta marítima desde Europa a India y a las riquezas de las islas de las Especias.

Los portugueses pasaron algún tiempo explorando la costa de India antes de embarcarse en el viaje de retorno, a principios de octubre. Pero ahora quedó demostrado que la idea que tenía Da Gama acerca de la mecánica rítmica por la que se rigen los vientos de los monzones era lamentablemente errónea; ningún navegante con conocimientos sobre esa zona habría intentado cruzar el océano en dirección sudoeste para alcanzar la costa africana en esa época del año. Los barcos de Da Gama se vieron luchando contra un viento de proa y obligados a dar bordadas de un lado para otro, con lo que apenas avanzaban. Peor todavía, con frecuencia quedaban inmóviles, al tiempo que el agua de boca se les echaba a perder y el escorbuto asomaba su fea cabeza entre la tripulación.(85)

Al final alcanzaron Mogadiscio, en la costa de África oriental. Su viaje de vuelta, hecho terriblemente a destiempo, había durado 132 días. Solo con que hubieran esperado dos meses antes de hacerse a la mar podrían haber navegado con viento de popa, gracias a los monzones de invierno, y hecho la travesía en solo unas pocas semanas. Para cuando los portugueses llegaron finalmente a casa, habían estado fuera durante casi dos años y recorrido alrededor de cuarenta

mil kilómetros.[34] La hazaña, con su alarde de valor y resistencia, se había cobrado la vida de dos tercios de la tripulación, muchos de cuyos integrantes habían sucumbido al escorbuto. Hay que prestar atención a los ritmos de los vientos de los monzones.

Con todo, sus barcos habían vuelto con las bodegas llenas de canela, clavo de olor, jengibre, nuez moscada, pimienta y rubíes, mientras que la primera expedición de Colón había encontrado poca cosa de valor. Así, aunque el periplo de ocho meses del genovés en 1492 es el que más se recuerda hoy en día, en muchos aspectos el viaje de Da Gama cinco años más tarde fue mucho más impresionante. El portugués había descubierto aquello tras lo que Colón iba pero no consiguió encontrar, la ruta marítima a las riquezas de Oriente.

El metrónomo del monzón

Los vientos de los monzones son impulsados exactamente por el mismo proceso con el que el lector quizá esté familiarizado, el de las brisas cambiantes que se dan en la costa. Durante el día, la tierra se caldea más rápidamente, y alcanza una temperatura máxima superior, que la superficie del mar que se halla junto a ella. Esto hace que el aire que se encuentra sobre la tierra ascienda y que el más fresco que hay sobre el mar sea captado por la región de bajas presiones que queda atrás, lo que impulsa una corriente de convección con un viento constante que sopla del mar hacia el interior: una brisa costera o viento marero. Por el contrario, la tierra se enfría mucho más rápido después de la puesta de sol, de modo que el aire situado sobre el mar, más cálido, se eleva y atrae consigo el situado sobre la tierra, lo cual impulsa una brisa de la tierra al mar, o viento terral. Si nos sentamos en la playa durante el ocaso, a menudo podemos sentir la clara inversión de la dirección del viento. La única diferencia es que los monzones tienen lugar a una escala mucho mayor, y estacionalmente en lugar de a diario. En verano, la masa terrestre de los continentes se caldea mucho antes

que la superficie del mar circundante, lo que impulsa un viento monzónico que atrae aire húmedo de la superficie del océano. A lo largo del invierno el océano conserva más su calor, de manera que la célula de convección se invierte, el viento monzónico cambia de dirección y aire seco procedente de altitudes más elevadas de la atmósfera desciende sobre el continente.

Los vientos monzónicos estacionales son creados por las diferencias de temperatura entre varias masas continentales y su océano circundante. África occidental, así como Norteamérica y Sudamérica, experimentan también monzones débiles, pero los que se dan sobre India y el Sudeste Asiático son con mucho los más fuertes de la Tierra, y esto se debe a la geografía. La meseta del Tíbet es la más extensa y la más elevada del mundo; mide aproximadamente 2.500 por 1.000 kilómetros y se eleva por término medio más de 5 kilómetros sobre el nivel del mar. Cuando el suelo de la meseta tibetana se calienta al sol del verano, también caldea de la alta atmósfera, algo que da un gran impulso a las corrientes ascendentes al principio y al final de la estación estival monzónica. Más importante aún a la hora de impulsar los intensos vientos monzónicos es la cordillera del Himalaya, a lo largo del borde meridional de la meseta. Esta actúa como un muro elevado, una barrera que bloquea el aire frío y seco del norte y que impide que se extienda sobre India y se mezcle con el aire cálido y húmedo del océano, que atenuaría la circulación atmosférica. El Himalaya básicamente aísla a India y proporciona las condiciones para un potente efecto monzónico. [35] Así, los fuertes vientos monzónicos de Asia meridional son otra consecuencia de la tectónica de placas, el resultado de que India chocara con Eurasia hace unos 25 millones de años.

India está situada en el océano que la rodea como la punta central de una enorme «M», y cuando se calienta al principio del verano las corrientes de aire ascendentes captan aire húmedo del océano que la circunda, que entonces se eleva, se enfría y se condensa en nubes que liberan cantidades enormes de lluvias monzónicas. La zona de convergencia intertropical, como hemos visto anteriormente, serpentea alrededor de la cintura de la Tierra, donde los vientos

alisios que soplan del norte y del sur se encuentran. Durante el verano, el caldeamiento de India y los efectos de la meseta del Tíbet y de la cordillera del Himalaya son tan acusados que la ZCIT es desviada más de tres mil kilómetros al norte del ecuador, y después vuelve al sur en invierno. Así, la banda de la ZCIT barre la región, los vientos alisios del hemisferio sur cruzan el ecuador en verano, y en invierno los vientos del norte se extienden por el océano Índico y las islas de las Indias Orientales.

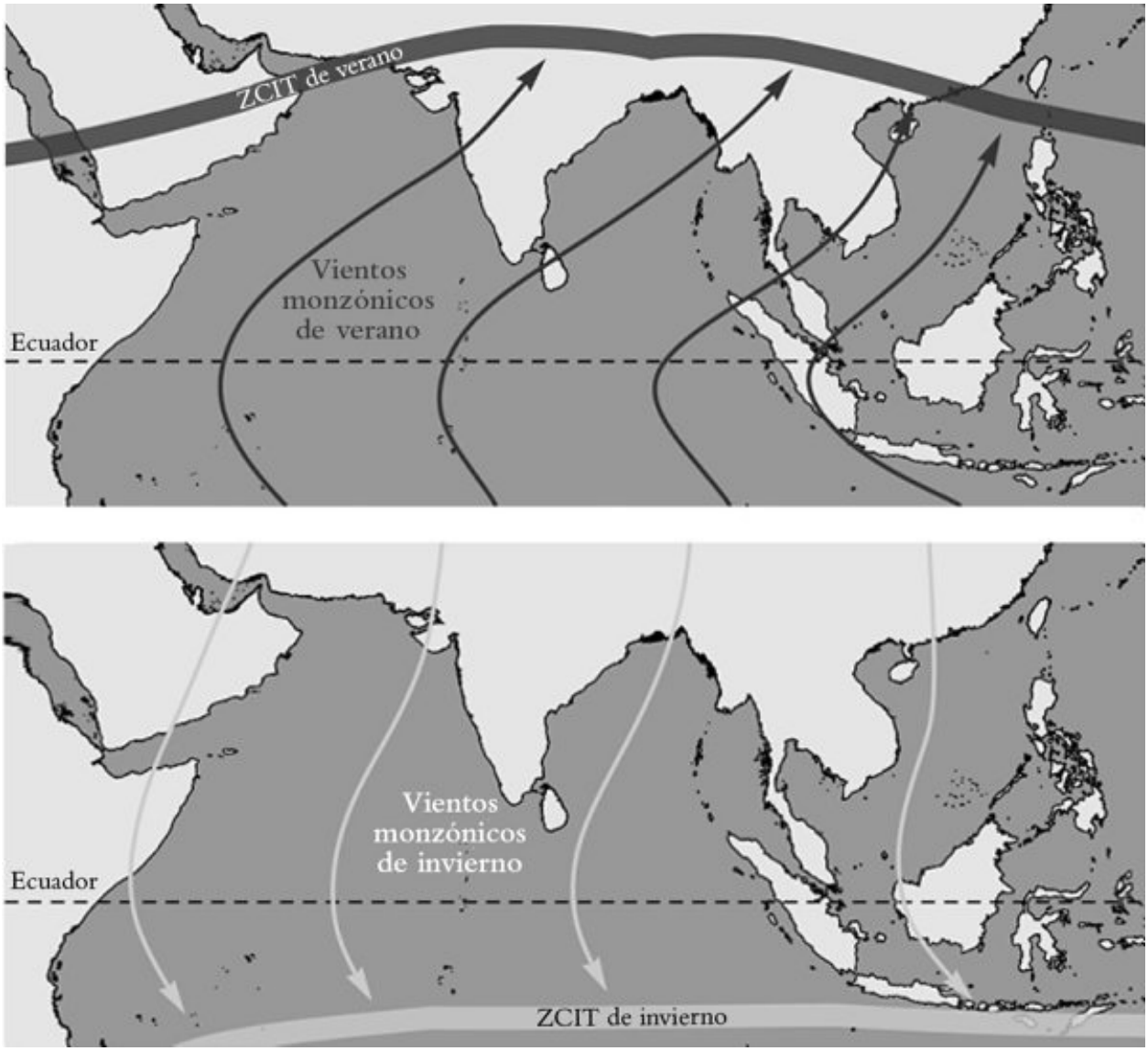


FIGURA 21. La pauta estacional de vientos invertidos en los mares monzónicos.

Efectivamente, la geografía de India altera los patrones de viento «normales» que encontramos en el resto del globo. De una estación a la siguiente, los vientos sobre el conjunto del Sudeste Asiático cambian periódicamente de dirección, como la gran respiración, inhalando y exhalando, de unos pulmones planetarios enormes. Entre los siglos XI y XV, mucho antes de la llegada de los marinos portugueses, los barcos que hacían uso de estos vientos para navegar por el océano Índico y entre la miríada de islas de las Indias Orientales crearon una red comercial dinámica y diversa, con puertos bulliciosos a lo largo de las rutas.[36]

La inversión de los vientos monzónicos es tan regular y predecible como un metrónomo, y, simplemente planificando bien los viajes, se puede navegar con vientos favorables hacia donde sea necesario ir, cargar las mercancías, volver a aprovisionar el barco y, después, esperar sin más a que los vientos cambien de dirección e impulsen la nave de nuevo hasta el hogar. Así, navegar por el océano Índico o los mares de las Indias Orientales es diferente de hacerlo por el Atlántico o el Pacífico. En este último caso, el truco consiste en desplazarse hacia el norte o el sur entre células de circulación atmosférica vecinas con los vientos alisios tropicales del este o los del oeste de latitudes medias; se capta la dirección del viento que se quiere tan solo mediante un cambio en el espacio. Pero el truco para navegar por los mares monzónicos consiste en esperar la inversión estacional y navegar de vuelta siguiendo prácticamente la ruta de ida; se capta la dirección del viento mediante un cambio en el tiempo. Y esto es algo de lo que Vasco da Gama no consiguió darse cuenta cuando penetró en el océano Índico en 1498.

Imperio marítimo

A partir del año en que Da Gama regresó, los portugueses empezaron a enviar expediciones anuales a India a lo largo de su nueva ruta.(86) Estos marinos también aprendieron la lección del riguroso viaje de retorno del explorador y

pronto adquirieron el conocimiento de los ritmos de los vientos monzónicos que dictan la derrota por el océano Índico y las islas del Sudeste Asiático. En posesión ahora de este saber clave, y gracias también a sus grandes barcos provistos de cañones y a su experiencia en la construcción de recias fortificaciones, adquirida tras siglos de incesante guerra en Europa, los portugueses impusieron rápidamente su dominio en la región y continuaron más hacia el este en su búsqueda de la fuente de las especias. En 1510 conquistaron Goa y lo convirtieron en su principal base de operaciones en el océano Índico, (87) y al año siguiente tomaron Malaca para controlar el tráfico marítimo a través de su estrecho. Una vez que hubieron confirmado dónde se hallaban las islas de las Especias, enviaron una expedición para ocupar las Molucas en 1512. Los portugueses también obtuvieron permiso para establecer centros comerciales en Macao, en la costa meridional de China, en 1557, y en Nagasaki, en Japón, en 1570.

En 1520, los beneficios derivados del comercio de especias portugués por el océano Índico proporcionaban casi el 40 por ciento de los ingresos totales de la Corona. Portugal había creado un nuevo tipo de imperio, que se volvía poderoso y rico no mediante la posesión de grandes territorios, sino en virtud del control estratégico de redes comerciales oceánicas que se extendían por el otro extremo del mundo; un imperio marítimo.[39]

Allí donde los españoles y portugueses habían abierto el camino, les siguieron los holandeses, británicos y franceses. La rivalidad entre estas potencias comerciales marítimas desencadenó guerras coloniales en todo el mundo cuando intentaron desalojar a los demás de puertos y fortificaciones estratégicos y controlar puestos fronterizos para dominar los pasos marítimos más relevantes. Mediante la exploración y el comercio por mar, el centro de gravedad de Europa se desplazó de manera decisiva de Oriente a Occidente. Europa ya no era el extremo occidental del mundo, el distante punto de llegada de la Ruta de la Seda que se abría camino a través de Asia. Y el Mediterráneo, el mar interior que había sido testigo de milenios de ciudades Estado, reinos e imperios que

competían entre sí por el predominio, se volvió casi provinciano y pasó de su centralidad previa a una insignificancia relativa.

El Nuevo Mundo, y las nuevas rutas marítimas a India y Oriente, ofrecían a los europeos acceso a un tesoro aparentemente inagotable de territorio y recursos, riqueza y poder. Cuando los navegantes europeos descifraron los secretos de los patrones de los vientos y las corrientes oceánicas, recorrieron los vastos océanos del mundo, pusieron en contacto regiones del planeta que antes no lo estaban e iniciaron el proceso de la globalización.[40] Por ello, la era de la exploración no fue simplemente un proceso consistente en llenar el mapamundi con nuevas tierras desconocidas, sino también en descubrir geografías hasta entonces invisibles. Los marinos europeos aprendieron cómo usar las bandas alternativas de vientos planetarios y corrientes oceánicas circulares como un gran sistema interconectado de cintas transportadoras, para que les condujeran adonde querían ir.

Los primeros barcos de exploración tenían un casco esbelto y estaban aparejados para maniobrar de la mejor forma posible en costas desconocidas, y en particular para dar bordadas al viento. Pero estas pequeñas carabelas con velas «latinas» triangulares requerían un número elevado de tripulantes diestros y tenían poco espacio de estiba para llevar cargamentos además de las provisiones necesarias. El buque ideal para el comercio transoceánico es uno amplio aparejado con grandes velas cuadradas; es mucho más sencillo de gobernar y, con ello, se minimiza el tamaño de la tripulación al tiempo que se maximiza el espacio en la bodega para provisiones y cargamentos destinados a obtener beneficios. Estos buques de vela cuadrada, ejemplificados por los galeones españoles, captan mucha fuerza motriz, pero solo navegan a favor del viento; dar bordadas contra la brisa es prácticamente imposible.[41] Esto significaba que, a diferencia de lo ocurrido en los primeros años de exploración, las rutas comerciales que iban a sentar las bases de la presencia de los imperios europeos en ultramar las dictó en gran medida la dirección de los vientos dominantes, y ello tuvo implicaciones profundas para las pautas de colonización

y la historia posterior de nuestro mundo. Las tres más importantes fueron la Ruta del Galeón de Manila, la Ruta de Brouwer y el Triángulo Comercial del Atlántico.

Hacia la globalización

Mientras los portugueses establecían su imperio comercial en el Sudeste Asiático, los españoles exploraban sus posesiones en las Américas y empezaban a buscar una ruta hacia el oeste que les llevara hasta las riquezas de las islas de las Especias.

En 1513 un explorador español había realizado una buena caminata a través del istmo de Panamá, y había sido el primer europeo en contemplar el océano en su extremo más alejado.[42] Tal como hemos visto en el capítulo 2, Fernando de Magallanes (un portugués que navegaba para los españoles) rodeó la punta austral de Sudamérica en 1520 atravesando el estrecho que ahora lleva su nombre y bautizó este nuevo océano como *Mare Pacificum*, el mar Pacífico.[43] Su flota navegó hacia el norte a lo largo de la costa, impulsada por la corriente de Humboldt del giro del Pacífico Sur, antes de captar los vientos alisios para dirigirse al oeste y llegar a las Filipinas, que reclamó para España. Magallanes fue asesinado en la isla de Mactán, pero su flota prosiguió el viaje y en 1521 alcanzó las Molucas, las famosas islas de las Especias, que a la sazón eran la única fuente a escala mundial de nuez moscada y clavo de olor.(88)

El problema del viaje español a las islas de las Especias era que los marinos habían encontrado una ruta hacia el oeste a través del Pacífico, pero desconocían los vientos necesarios para volver al este, a América. La única nave de la expedición de Magallanes que volvió a casa lo hizo continuando hacia el oeste a través del océano Índico y completando la primera circunnavegación del planeta. Tal como escribió su capitán: «Hemos seguido un rumbo alrededor de toda la redondez del mundo; y es que yendo hacia el occidente hemos retornado por el

oriente».[45]

Habrían de pasar otros cuarenta años antes de que los marinos españoles tuviesen conocimiento de los vientos que permitían un viaje de retorno —o tornaviaje— al este a través del Pacífico y hasta América. Advirtiendo que el patrón de vientos en el Pacífico replica el del Atlántico, los navegantes zarpaban de las Filipinas y ponían rumbo al norte, hacia las costas de Japón, antes de captar la banda de vientos del oeste (en la célula de circulación de Ferrel de la atmósfera) que los conducía en la dirección correcta.[46] El descubrimiento permitió a los españoles inaugurar un trayecto regular de ida y vuelta que unía los dos extremos del vasto océano Pacífico, la Ruta del Galeón de Manila. Esta se extendía entre las colonias de Nueva España en Acapulco, en el México actual, y Manila, en las Filipinas, y durante 250 años (desde 1565 hasta 1815, cuando concluyó a raíz de la guerra de Independencia de México) esta travesía del Pacífico fue la ruta comercial más larga de la historia.[47] Los vientos del oeste que atraviesan el Pacífico llevaban los galeones a la costa de California, donde necesitaban estaciones de paso para reaprovisionarse después de esta larga travesía oceánica, antes de emprender la última etapa de su viaje al sur, siguiendo la costa hasta México. Esto explica la fuerte presencia colonial española en la región, donde los nombres de las principales ciudades, como San Francisco, Los Ángeles y San Diego, recuerdan la influencia española todavía en la actualidad.

El principal cargamento de esta ruta que se dirigía al oeste a través del Pacífico era plata. En la década de 1540, los españoles descubrieron ricas vetas de este metal en México, así como la «montaña de plata» de Potosí, en la elevada cordillera de los Andes.[48](89) Aprovechando la corriente de Humboldt, la mayor parte de esta plata era transportada en barco a lo largo de la costa sudamericana hasta el istmo de Panamá, allí atravesaba este angosto puente continental a lomos de mulas y después era cargado en barcos que se dirigían a España.[52] Al cruzar el Atlántico en flotillas cargadas de tesoros, los galeones españoles eran presa de los corsarios franceses, holandeses e ingleses, algunos

de los cuales tenían nombres memorables, como Pata de Palo Le Clerc y Francis Drake.

Aproximadamente la quinta parte de la plata extraída en América era enviada a través del Pacífico a bordo de los galeones de Manila, y en las Filipinas era canjeada por artículos de lujo chinos: seda, porcelana, incienso, almizcle y especias.[53] En último término, ya fuera transportada a las Filipinas para comerciar con los chinos o bien a España y después se filtrara en dirección este a través de los imperios europeos, alrededor de un tercio de toda la plata sudamericana fluyó hacia China,[54] que valoraba mucho este metal precioso, más incluso que el oro. Parte de él servía para comerciar con India, donde a principios del siglo XVII el príncipe mogol Sha Jahan construyó un mausoleo resplandeciente para su esposa, el Taj Mahal. Este símbolo imperecedero del amor ejemplifica también los albores de la economía global que estaba despegando con la era de la navegación a vela; la plata sudamericana, explotada por los españoles y vendida a través de mercaderes europeos, financió en última instancia un proyecto de construcción monumental en India.[55]

Durante un tiempo, España se hizo inmensamente rica y poderosa gracias a este flujo de plata que salía de América. Pero como en el caso del Triángulo Comercial del Atlántico, al que volveremos más adelante, esta riqueza inmensa llegó a Europa a costa del enorme sufrimiento de los mineros, que trabajaban en las profundidades de la montaña de plata durante meses seguidos y que padecían el calor y el polvo a una altitud de cuatro mil metros, lo que les afectaba los pulmones. Potosí ha sido descrito de forma memorable como la «montaña que come hombres».[56]

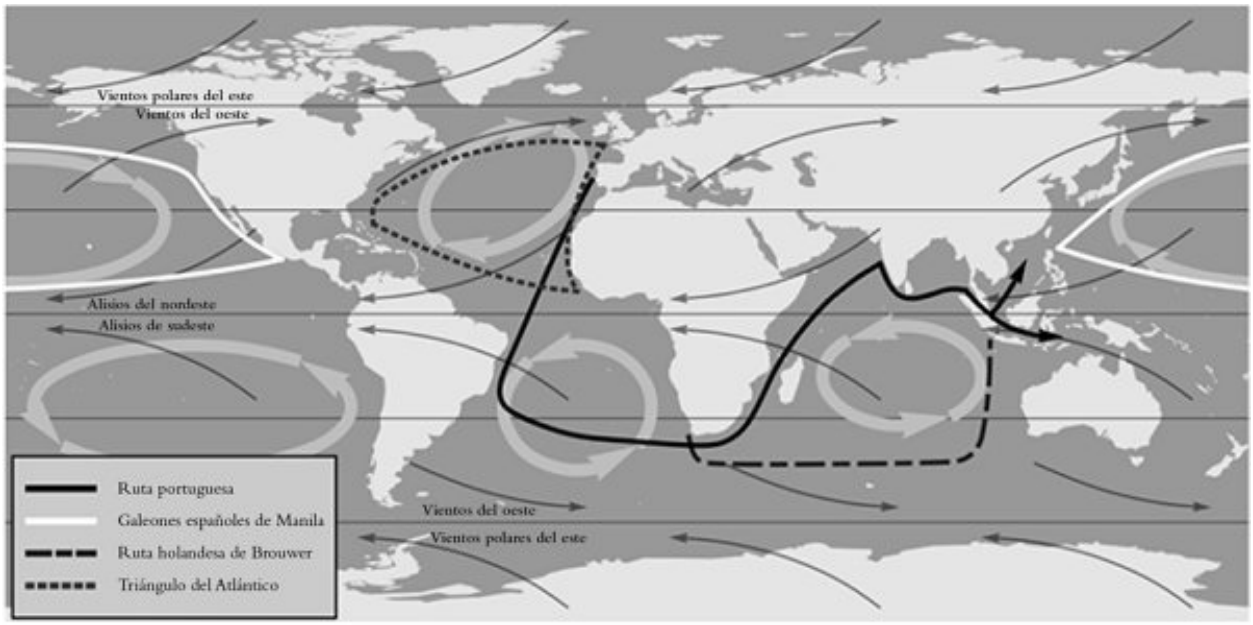


FIGURA 22. Conectando el mundo: principales rutas comerciales oceánicas que explotaban diferentes bandas de vientos y corrientes oceánicas.

El siglo XVII fue testigo de la apertura de otra ruta crucial a las Indias Orientales. El paso descubierto por los portugueses en los últimos años del siglo XV rodeaba el extremo meridional de África, seguía la costa oriental del continente y cruzaba el océano hasta India, antes de dirigirse hacia el estrecho de Malaca. La ruta solo tocaba ligeramente la banda de vientos del oeste para llevar los barcos más allá de la punta austral de África. Estos son los vientos del oeste del hemisferio sur que son la imagen especular de los vientos de latitud media que los españoles aprendieron a aprovechar desde las Filipinas hasta México en la Ruta del Galeón de Manila. Pero, tal como hemos visto antes, en el hemisferio sur no hay masas continentales importantes que entorpezcan a estos vientos del oeste, y en consecuencia son mucho más violentos. No sería hasta un siglo más tarde, sin embargo, cuando los marinos descubrirían cómo podían explotar totalmente los Rugientes Cuarenta.

En 1611, el capitán Henrik Brouwer, de la Compañía Holandesa de las Indias Orientales, rebasó el cabo de Buena Esperanza y en lugar de dirigirse al nordeste, hacia India, lo hizo hacia el sur, internándose en los vientos del oeste.

Estos lo impulsaron unos siete mil kilómetros hacia el este, y entonces abandonó esta autopista oceánica rápida y se dirigió de nuevo al norte, hacia Java. Siguiendo la Ruta de Brouwer, que aprovechaba los Rugientes Cuarenta, se tardaba menos de la mitad del tiempo que efectuando la travesía tradicional, sobre todo porque no era necesario esperar a los vientos monzónicos en el océano Índico. Además de ofrecer un viaje mucho más rápido a las islas de las Especias, esta ruta más austral y más fría, lejos de los trópicos, mantenía a la tripulación más saludable y las provisiones, más frescas.

El desarrollo de la nueva travesía tuvo una serie de profundas consecuencias históricas. Fueron los marinos que tomaban la Ruta de Brouwer los primeros que repararon en la costa occidental de Australia. Y el hecho de desviarse al sur rodeando el océano Índico comportó que la puerta de entrada a las Indias Orientales se desplazara desde el estrecho de Malaca al de la Sonda, entre Java y Sumatra. Los holandeses fundaron Batavia (la actual Yakarta) en 1619 como su centro de operaciones en la región y continuaron dominando este estrecho clave. Esta zona de fuertes vientos fue también la razón para que se fundara Ciudad del Cabo; los holandeses necesitaban un puerto de reabastecimiento antes del largo tramo final del viaje. El cinturón de vientos de los Rugientes Cuarenta es, por lo tanto, el motivo de que en Sudáfrica se hable actualmente afrikáans.(90)

Fueron las especias las que impulsaron los primeros años de la era de la exploración y el comercio oceánico global que llevaban a cabo buques europeos, pero hacia 1700 la demanda la dominaban nuevas mercancías. Plantas que originalmente crecían en África e India habían sido trasplantadas en el Nuevo Mundo, y ahora se producían grandes cantidades de café en Brasil, de azúcar en el Caribe y de algodón en Norteamérica.[58] La demanda de la mano de obra necesaria para producir en masa estos productos para los mercados europeos condujo a otro sistema de comercio transcontinental, que sin duda fue el más importante de todos para dar forma al mundo actual.

Dicho en términos sencillos, el Triángulo Comercial del Atlántico conectaba Europa, África y las Américas para satisfacer el hambre insaciable del primero

por obtener algodón, azúcar, café y tabaco baratos. Los buques zarpaban de Europa con productos fabricados en las naciones desarrolladas del continente, como tejidos y armas, y recorrían la costa de África occidental para intercambiarlos con los jefes locales por esclavos que estos habían capturado. Después, los transportaban a través del Atlántico para venderlos en las colonias, a los propietarios de plantaciones de Brasil, el Caribe y Norteamérica.(91) El capital obtenido por la venta de este cargamento humano lo empleaban los capitanes para comprar los bienes de aquellas plantaciones, producto del trabajo de los esclavos. Se limpiaban con vinagre y lejía las bodegas de carga de los barcos esclavistas, y después estos transportaban las materias primas hasta Europa para su procesamiento, completando así el circuito.[61] Hubo variaciones en cuanto a las rutas exactas que se seguían y las mercancías transferidas en cada viaje, en circuitos que se solapaban así como en trayectos cortos que transportaban los artículos a lo largo de determinados tramos de costa,[62] pero esta fue la esencia básica del Triángulo Comercial del Atlántico, que tuvo lugar entre las naciones europeas y sus territorios coloniales desde finales del siglo XVI hasta principios del XIX.

Antes de ser transportados a través del Atlántico, los esclavos africanos eran retenidos en fuertes costeros conocidos como «factorías», emplazados a menudo en la desembocadura de ríos al ser esa la manera más fácil de transportar cautivos desde las tierras del interior. A la gran mayoría de los esclavos se les capturaba en el África occidental central (la región entre el ecuador y unos 15º de latitud sur) y a lo largo de la Costa de Oro y las bahías de Benín y de Biafra, en el golfo de Guinea. También esto se debía en gran medida a la mecánica de las pautas de circulación atmosférica y a las corrientes oceánicas. Desde allí, gracias a los vientos alisios del sudeste, era más fácil cruzar el Atlántico y luego, impulsados por la corriente de Brasil, navegar hacia el sur siguiendo la costa y alcanzar las plantaciones de café brasileñas; o bien aprovechar los vientos del nordeste y la corriente ecuatorial norte para llegar a las plantaciones de azúcar de

las islas del Caribe, las plantaciones de algodón de Alabama y Carolina y las plantaciones de tabaco de Virginia. El comercio atlántico de esclavos fue prohibido en 1807, pero hubo tratantes que lo continuaron hasta la abolición de la esclavitud tras la conclusión de la guerra civil estadounidense en 1865. Hasta esa fecha, más de 10 millones de africanos habían sido capturados y transportados a la fuerza a las Américas,[63] muchos de los cuales murieron fruto de las condiciones terribles de la travesía o en el primer o segundo año en las plantaciones. Aproximadamente el 40 por ciento fueron llevados a Brasil, el 40 por ciento al Caribe, el 5 por ciento a lo que se convertiría en Estados Unidos y el 15 por ciento a Hispanoamérica.[64]

Los armadores vendían su carga para obtener beneficios en cada etapa del triángulo, de modo que, como una máquina de movimiento perpetuo y económica, el sistema generó enormes ganancias financieras para sus dueños en cada vuelta de manivela. Mientras que las naciones europeas empezaban a emplear ruedas hidráulicas y después máquinas de vapor para accionar sus molinos y fábricas, en ultramar la mano de obra esclava que proporcionaba las materias primas era un componente igualmente importante de la maquinaria que accionaba la economía de la industrialización. Antes de que el abolicionismo cobrara fuerza, el sabor del té endulzado o de un trago de ron, la sensación de una camisa de algodón limpia y la inhalación vigorizadora del humo de una pipa hicieron que los europeos desviaran la mirada ante el sufrimiento humano que en último término posibilitaba su estilo de vida.[65](92)

Las enormes zonas de nuevas tierras que constituían las colonias ultramarinas de Europa y las materias primas y los beneficios que proporcionaban contribuyeron a crear las condiciones para la Revolución industrial, pero igual de crucial para impulsar esta transformación fue la disponibilidad de cantidades de energía aparentemente ilimitadas procedentes del mundo subterráneo, que ahora trataremos.

9

Energía

Durante la inmensa mayoría de los 10.000 años de historia de la humanidad establecida, hemos sido una sociedad agraria. Los pueblos sedentarios se han alimentado de plantas que cultivaban en campos cercanos y han criado animales para aprovechar su carne, su leche y su potencia de tracción. El cultivo de plantas y la cría de animales han proporcionado también las fibras que transformamos en vestidos para protegernos de los elementos: algodón, lino, seda, cuero y lana.

En esencia, la agricultura capta la energía solar que llega a una determinada zona de cultivo y la transforma en alimento para nuestro cuerpo y materias primas para nuestra comunidad. Con el paso del tiempo hemos aumentado la producción agrícola, ya sea expandiendo el área cultivada (desbrozando bosques para dar paso a tierras de labranza o desarrollando nuevos instrumentos y técnicas, como el arado pesado, para cultivar tierras previamente marginales), ya sea criando selectivamente plantas y animales que produzcan más, y estableciendo sistemas de rotación de cultivos. En el transcurso de la historia nos hemos vuelto cada vez más diestros en ello, y en consecuencia nuestra población ha aumentado mucho.

Talar bosques ha proporcionado también la leña que precisábamos para cocinar nuestra comida y caldear nuestros hogares. Y la madera facilitó la energía térmica necesaria para convertir las materias primas que obteníamos del ambiente natural en productos tales como cerámica, ladrillos, metales y vidrio. Para conseguir las elevadas temperaturas que requieren nuestros hornos, fraguas,

altos hornos y fundiciones, hemos carbonizado madera para producir carbón vegetal. De esta manera, al basarse en este combustible producido a partir de los bosques, incluso la producción de acero y vidrio estaba ligada al crecimiento de los árboles. A medida que nuestra población aumentaba y crecía la demanda de madera para usarla como combustible y materiales de construcción, empezamos a quedarnos sin los bosques naturales que teníamos más a mano y aprendimos cómo regenerarlos mediante el rebrote, una técnica de silvicultura gestionada en la que se talan árboles como fresnos, abedules y encinas y se permite que rebroten a partir del tocón para dar lugar a otro árbol maduro. El rebrote puede ser puesto en práctica en ciclos repetidos para que la tierra proporcione un suministro continuo de madera.(93)

Pero, dado que la población en Europa seguía aumentando, ni el sistema de rebrote podía satisfacer nuestro apetito insaciable de leña y madera para la construcción. A partir de mediados del siglo XVII esta carestía se agudizó cada vez más y el precio de la madera aumentó de forma inexorable. Europa estaba a punto de alcanzar el «pico de la madera»; todas las tierras adecuadas ya estaban destinadas a obtener alimentos, y la producción de combustible no podía incrementarse más. Sin embargo, entonces se empezó a explorar otra fuente de energía, que no solo mantenía el fuego en nuestros hogares, sino que también proporcionaba niveles de energía que aventajaban con mucho a la energía muscular.

Luz solar y energía muscular

Durante la mayor parte de la historia humana, la energía necesaria para construir y mantener la civilización la habían proporcionado los músculos, ya fueran los de los trabajadores humanos o los de los animales de tiro. Los músculos, empleados y coordinados adecuadamente, pueden conseguir grandes proezas; las pirámides de Guiza, la Gran Muralla china o las catedrales de la Europa

medieval fueron todas ellas construidas con energía muscular y artilugios mecánicos sencillos, como rodillos, rampas y cabrestantes. Pero los músculos necesitan ser accionados por comida, que a su vez requiere cultivos y pastos. De modo que, a medida que nuestra población aumentaba y las tierras agrícolas escaseaban cada vez más, los músculos se iban volviendo más caros.[2]

Ya existían alternativas a la energía muscular que se aprovechaban de fuentes de energía naturales y renovables. Se consiguió mucho con la fuerza de giro que proporcionaron primero la noria y después el molino de viento. La noria fue inventada hace unos 2.500 años, y en el siglo I d. C. ya era usada por los chinos para accionar los fuelles de los altos hornos dedicados a fundir hierro.[3] La instalación provista de ruedas hidráulicas más grande construida por los romanos se hallaba en Barbegal, en el sur de Francia, inaugurada poco después del año 100 d. C.[4] Allí, un sistema de dieciséis norias conectadas constituía la mayor concentración conocida de energía mecánica del mundo antiguo,[5] con un rendimiento total equivalente a treinta kilovatios de potencia.(94) Los molinos de viento aparecieron por primera vez en Persia en el siglo IX y fueron perfeccionados constantemente a medida que se extendían por la Europa medieval. Los Países Bajos, en particular, los adoptaron con gran entusiasmo para drenar los pólderes y ganar tierra al mar, como hemos visto en el capítulo 4. Las ruedas hidráulicas y los molinos de viento acabaron por proporcionar la energía motriz para todo, como moler grano para producir harina, prensar aceitunas para obtener aceite, serrar madera, aplastar menas de metal y caliza e impulsar rodillos para dar forma a barras de hierro.

Esta revolución mecánica, que cobró velocidad entre los siglos XI y XIII, vio como la Europa medieval se convertía en la primera sociedad que no basaba su productividad únicamente en el trabajo muscular de los humanos o los animales. Aun así, la disponibilidad de energía seguía siendo una limitación con vistas a incrementar la productividad, pues las ruedas hidráulicas y los molinos de viento estaban sometidos a los antojos del nivel de los ríos y la fuerza de los vientos.

Aunque aquellos aliviaban el sobreesfuerzo físico de hacer funcionar los procesos de producción, continuamos viviendo en un mundo en el que la energía muscular y la luz solar eran fundamentales.

A lo largo de la historia hemos aprendido a desviar la energía del sol a través del ecosistema y a canalizarla, en cambio, hacia nuestro cuerpo y nuestra sociedad. Era la radiación solar la que hacía madurar las cosechas y alimentaba los bosques. De hecho, durante la mayor parte de nuestra historia la productividad de la civilización ha dependido de la fotosíntesis (y ha estado limitada por ella) y de lo rápidamente que las plantas podían generar alimento y combustible en la tierra que teníamos a nuestra disposición.

A este sistema se le han adjudicado varios nombres, como Economía de la Energía Orgánica, Régimen de la Energía Somática o Antiguo Régimen Biológico,[6] pero todos aluden a la misma verdad: antes del siglo XVIII, toda la historia de la civilización se había sustentado en la energía solar captada por los cultivos y los bosques, así como en la energía muscular suministrada por trabajadores humanos y animales de tiro, que a su vez necesitaban ser impulsados por alimentos obtenidos de plantas. Pero si la productividad de la sociedad se rige por la tasa de crecimiento de los campos de cultivo y los bosques maderables (por la rapidez con que se puede cosechar la luz solar), entonces está limitada fundamentalmente por la tierra adecuada de que se dispone. Además, el alimento que comemos y la leña y madera que necesitamos para fabricar compiten por la misma tierra. Existe un techo evidente para lo que los imperios agrícolas pueden conseguir.

La única manera de librarse de estas limitaciones es encontrar fuentes de energía que no precisen que cosechemos directamente la luz solar. Y esto se consiguió en la Europa del siglo XVIII, al acceder a las enormes reservas de energía almacenada bajo nuestros pies. En lugar de intentar obtener más de la superficie terrestre, excavamos bajo tierra para extraer alijos de antiguos bosques, en forma de carbón. Este es en esencia una roca sedimentaria

combustible, y una única veta representa la esencia condensada de muchas estaciones de crecimiento forestal; es luz solar fosilizada. Una sola tonelada de carbón puede proporcionar tanta energía térmica como un año de leña obtenida de media hectárea de bosque. Fue el carbón lo que construyó el mundo moderno.

La revolución de la energía

Utilizamos carbón mucho antes de la Revolución industrial. Cuando Marco Polo viajó hasta China siguiendo la Ruta de la Seda a finales del siglo XIII, describió que los chinos tenían la extraña costumbre de quemar pedazos de piedra negra como combustible.[7] E incluso en Gran Bretaña, a finales del siglo II d. C., los romanos extraían carbón de los principales yacimientos de Inglaterra y Gales para usarlo en la metalurgia o en sus sistemas de calefacción bajo tierra.[8]

Fue la fabricación de tejidos lo que puso en marcha el proceso que denominamos «Revolución industrial». Una serie de invenciones transformaron este sector artesanal en la segunda mitad del siglo XVIII, como máquinas que eran capaces de hilar fibras de algodón y de lana y, después, tejer estos hilos para confeccionar tejidos. La disponibilidad de algodón barato procedente de las colonias británicas en América e India (hemos tratado estas redes comerciales internacionales en el capítulo anterior) satisfacía esta demanda creciente al tiempo que los molinos aumentaban rápidamente su capacidad, y al principio las ruedas hidráulicas proporcionaron la energía motriz. Pero la fuerza que realmente impulsó el avance de la Revolución industrial fue el círculo virtuoso que existía entre el carbón, la producción de hierro y la máquina de vapor.

La Revolución industrial empezó a cobrar ímpetu con la introducción de coque para accionar los altos hornos. El carbón extraído del subsuelo no es combustible de carbono puro sino que contiene impurezas, como compuestos inorgánicos volátiles, azufre y humedad. Si primero se calienta mucho el carbón sin permitir que se encienda y arda (de manera muy parecida a como se produce

carbón vegetal a partir de leña) se obtiene coque, un combustible que al quemar produce una temperatura más elevada; este proceso elimina las impurezas y en particular el azufre, que puede contaminar el hierro y volverlo quebradizo. Los altos hornos alimentados con coque abarataron mucho la producción de hierro, y proporcionaron el material para proyectos de construcción y para tornos cada vez más sofisticados.

La explotación de enormes reservas subterráneas de carbón, y la producción de coque a partir de este, liberaron a Gran Bretaña y a su incipiente industria de las limitaciones de los bosques madereros y proporcionaron un enorme suministro de energía para fabricar los productos que la sociedad necesitaba. Pero fue la máquina de vapor lo que supuso un paso de gigante, al generar fuerza y movimiento sin la necesidad de musculatura animal. Fundamentalmente, es un convertidor, capaz de transformar la energía térmica en energía cinética; convierte el calor en movimiento. Las primeras máquinas de vapor se empleaban en las minas de carbón para bombear y extraer las aguas subterráneas, de modo que se pudieran excavar vetas cada vez más profundas. Al estar emplazadas allí, no importaba que los primitivos diseños iniciales tuvieran un hambre desmesurada de combustible. Pese a todo, una serie de innovaciones y mejoras hicieron que la máquina de vapor fuera cada vez más eficiente energéticamente y cada vez más potente.

Así, esta se convirtió en una especie de planta energética de uso general. Servía como el «motor principal» en muchas fábricas, donde una única máquina de vapor podía hacer funcionar toda una nave de talleres y tornos mediante un sistema de cintas y cadenas elevadas. Más compactos y eficientes en el uso de combustible, se desarrollaron motores de vapor de alta presión para el transporte, y a pesar de su peso considerable se extendieron por la superficie mediante la instalación de vías de ferrocarril, o bien fueron montados en buques, sostenidos por la flotabilidad del casco. El vapor no tardó en llevar cargamentos y pasajeros por todo el mundo. Hacia 1900, las máquinas de vapor proporcionaban alrededor de las dos terceras partes de la energía que se necesitaba en Gran Bretaña,

transportaban el 90 por ciento de las mercancías por vía terrestre mediante ferrocarriles y cargaban con el 80 por ciento de los fletes por vía marítima.[9]

Este fue en esencia el triple proceso que aceleró el ritmo de la industrialización. El vapor nos permitió extraer cantidades cada vez mayores de carbón, las fundiciones alimentadas con este produjeron cada vez más hierro, y tanto uno como el otro fueron utilizados para construir y hacer funcionar cada vez más motores usados para extraer carbón, producir hierro y construir maquinaria a ritmos crecientes. De esta manera, el carbón, el hierro y la máquina de vapor formaron un triángulo virtuoso.

La razón de que esta transición industrial sea tan importante en nuestra historia es que nos liberó de las limitaciones energéticas impuestas previamente a la civilización humana. El carbón proporcionaba cantidades prodigiosas de energía térmica sin la necesidad de talar bosques, y la máquina de vapor eliminó nuestra dependencia de los músculos de animales y humanos. Sin enormes reservas de combustible enterrado es improbable que la civilización hubiera progresado nunca más allá de un estado esencialmente agrícola. Así pues, ¿cómo nos ha proporcionado la Tierra este recurso energético que nos estaba esperando, listo para ser usado?

Luz solar fosilizada

El lector sabrá sin duda que el carbón es fruto del enterramiento de árboles antiguos. Y de nuevo, como hemos visto en repetidas ocasiones a lo largo del libro, algo extraordinario aconteció durante el periodo geológico que fue testigo de la era más productiva y extendida de la formación de carbón. Estas condiciones dominantes tuvieron profundas ramificaciones para la vida en la Tierra.

Aunque las plantas colonizaron por primera vez la tierra hace unos 470 millones de años, tras evolucionar a partir de algas verdes ramificadas que

crecían en lagos,[10] hizo falta mucho tiempo para que la cobertura vegetal creciera lo suficiente para producir los primeros yacimientos de carbón, todavía insignificantes. En el transcurso de los casi 400 millones de años en que vastas áreas arboladas cubrieron nuestro planeta, con mucho los yacimientos de carbón más voluminosos y extensos surgieron durante el Carbonífero, un periodo de 60 millones de años que terminó hace unos 300 millones de años. De hecho, es la formación de carbón lo que dio su nombre a esta era geológica. Ha habido otros periodos posteriores en que se ha formado, pero el Carbonífero destaca por encima del resto por la enorme cantidad de carbón depositado y la extensión de sus yacimientos. Alrededor del 90 por ciento del que hemos usado desde la Revolución industrial se remonta a este corto periodo de la historia geológica.

Normalmente, cuando los organismos vivos mueren, ya se trate de un cardo o de un cerdo, se descomponen y liberan en el aire el carbono de las moléculas orgánicas de su cuerpo en forma de dióxido de carbono, que es captado de nuevo por las plantas fotosintéticas. Para que estas enormes cantidades de elemento se convirtieran en carbón durante el Carbonífero, algo tuvo que bloquear este proceso de descomposición, y parece que en aquel periodo, por alguna razón, el sistema de reciclado de carbono de la Tierra dejó de funcionar. Morían árboles, pero no se pudrían. La vegetación muerta se acumuló en el suelo y se convirtió en turba, después esta quedó enterrada cada vez a mayor profundidad, el calor interno del planeta la coció y, finalmente, se transformó en carbón.

El prerrequisito clave para que la turba se acumule no es más que el crecimiento de la vegetación sea más rápido que la tasa a la que el material muerto pueda retirarse por descomposición o, a una escala temporal más prolongada, que los yacimientos puedan erosionarse físicamente. Y parece que fueron bosques frondosos que crecían con energía en un entorno llano y pantanoso que se hundía, en el que los árboles muertos quedaban enterrados sin oxígeno antes de que pudieran descomponerse completamente, los que inclinaron la balanza.

Durante el Carbonífero, nuestro mundo tenía un aspecto muy distinto. En esta

época tan remota, la disposición de los continentes, que se desplazaban constantemente por la superficie de la Tierra bajo la influencia de la tectónica de placas, era muy diferente. A lo largo de este periodo, las principales masas continentales entrechocaban y se fusionaban hasta conformar una única masa, el supercontinente Pangea.

A lo largo del ecuador, en lo que ahora es el este de Norteamérica y Europa occidental y central, había grandes cuencas bajas que formaban pantanos tropicales en los que medraban densos bosques. Los árboles que llenaban estos bosques pantanosos se reproducían todavía mediante esporas (tal como se ha descrito en el capítulo 3), y nos habrían parecido desconcertantemente ajenos. Eran parientes antiguos de los equisetos, los licopodios, los isoetes y los helechos que en los bosques actuales ocupan con humildad el sotobosque húmedo. Gran parte del carbono que acabó formándose lo produjeron licópsidos, [11] árboles emparentados con los licopodios actuales. Sus troncos, de un metro de grosor, eran muy rectos, tenían pocas ramas laterales, curiosamente eran de color verde y poseían una textura consistente en un patrón regular de hoyuelos allí donde habían caído las hojas viejas; los fósiles de estos árboles parecen casi huellas de neumáticos. Crecían hasta una altura de más de treinta metros, y sostenían una copa compacta de hojas largas y anchas.

Por estos exuberantes ecosistemas de humedales también pululaba una fauna grotesca. La maleza del Carbonífero temblaba bajo el peso de cucarachas gigantes notablemente parecidas en su aspecto a las actuales, arañas del tamaño de cacerolas de las Molucas (aunque todavía no tejían telarañas) y milpiés de un metro y medio. Anfibios parecidos a tritones, pero del tamaño de caballos,[12] se movían con pesadez por estos pantanos con unos andares amplios y despatarrados, y gigantescas libélulas depredadoras, con una envergadura alar de hasta 75 centímetros,[13] planeaban por el aire cálido y húmedo. No obstante, si el lector pudiera viajar hacia atrás en el tiempo para pasear por estos bosques frondosos, le sorprendería la notable ausencia de determinados sonidos, algo que le parecería inquietante en cuanto se diera cuenta de ello: no se oía el canto de

ninguna ave. En aquellos cielos antiguos solo los insectos se habían elevado por los aires; las aves tardarían otros 200 millones de años en aparecer. Otros muchos animales que cabría esperar en este tipo de ambiente tenían todavía que surgir por evolución; no había mosquitos que zumbaran en las tibias charcas, pero tampoco había hormigas, escarabajos, moscas ni abejorros.[14]

Aunque el Carbonífero proporcionó las condiciones ambientales ideales para un crecimiento arbóreo exuberante, algunas eras posteriores fueron también cálidas y bochornosas, de modo que, por sí solo, esto no puede explicar por entero los enormes yacimientos de carbón de este periodo. No es tanto su crecimiento vigoroso como el hecho de que los árboles muertos no se pudrieran y se acumularan en densos depósitos de turba lo que requiere una explicación. Ciertamente, los letárgicos pantanos que rodeaban el ecuador del Carbonífero debieron de ayudar; el suelo de estas ciénagas fétidas, pobre en oxígeno, redujo sin lugar a dudas la actividad de los microbios de la descomposición. Pero ha habido pantanos a lo largo de toda la historia del planeta; no son una característica exclusiva del Carbonífero.

Así pues, ¿qué podría haber de especial en el mundo de hace 325 millones de años? ¿Por qué los troncos de los árboles caídos parecían tan reacios a pudrirse? ¿Por qué el reciclado del carbono falló de manera tan espectacular durante el Carbonífero, lo que condujo a la creación de gran parte del carbón que habría de impulsar la Revolución industrial?

Una explicación, que se ha vuelto popular en años recientes, es que en el Carbonífero los hongos, que desempeñan un papel fundamental en el proceso de descomposición, no estaban todavía equipados desde el punto de vista bioquímico para descomponer los árboles caídos.

Para ganar todavía más altura, los primeros árboles necesitaron desarrollar una mayor robustez interna para sostenerse. Todas las plantas contienen celulosa, una molécula constituida por largas cadenas de unidades de azúcares que refuerza sus paredes celulares; una chaqueta de lino, una camisa de algodón y la página de papel que está usted leyendo ahora mismo (a menos que arrastre el

dedo por la pantalla de un dispositivo de lectura electrónico, en cuyo caso piense en la caja de cartón que lo contenía), están todas ellas compuestas de celulosa. Pero lo que realmente dio a estos troncos altos su resistencia fue la invención biológica de una segunda molécula, la lignina. Esto explica por qué las pequeñas plantas con aspecto de musgo del Devónico temprano se convirtieron en los altos árboles del Carbonífero. Y, algo muy importante, la lignina es mucho más difícil de descomponer que la celulosa.[15]

Si el lector pasea algún día de estos por un bosque, sentirá los estimulantes aromas del suelo rico en humus y del follaje, y advertirá que la madera muerta de un tocón junto al sendero se ha vuelto pálida y posee una textura blanda y esponjosa. Esto lo causan los hongos de pudrición blanca, que descomponen la lignina de color oscuro de la madera. (Hay especies de estos hongos particularmente sabrosas, como la gírgola y el shiitake.) Pero en el periodo Carbonífero, sostiene esta teoría, los árboles tenían lignina recién formada para reforzar su madera, pero los hongos todavía no habían tenido tiempo de desarrollar el juego de herramientas enzimáticas necesarias para descomponerla. Gran parte de la masa sólida de los árboles se había vuelto indigerible y durante millones de años, cuando caían, solo se amontonaban sobre el suelo.

Sin embargo, aunque se trata de una hipótesis satisfactoria, desafortunadamente ha sido rebatida por las evidencias más recientes. Para empezar, las especies más comunes de árboles formadores de carbón en los pantanos del Carbonífero no contenían en realidad mucha lignina. Y aunque Norteamérica y Europa no formaron mucho carbón en el periodo geológico que siguió inmediatamente al Carbonífero (el Pérmico), algunas zonas de China sí que lo hicieron, y esto ocurrió después de la supuesta aparición de hongos capaces de descomponer la lignina.[16] Así pues, si no fue un desfase temporal evolutivo entre los bosques que se reforzaban con lignina y los hongos que desarrollaban la capacidad de digerirla, ¿qué era lo que tenía el Carbonífero que lo hizo tan prolífico a la hora de transformar árboles en carbón?

Parece que la razón de los enormes yacimientos de este material del

Carbonífero no es principalmente biológica, sino geológica.

Aunque la región tropical alrededor del ecuador seguía siendo cálida, el Carbonífero tardío fue en realidad una época fría en el contexto de la historia de la Tierra, y en el sur de Gondwana se formaron grandes casquetes de hielo; de modo que, a pesar de la idea que la gente se ha formado de él, en el mundo del Carbonífero no todo eran junglas vaporosas. Estas condiciones glaciales las causó la configuración de los continentes en aquella época. Las masas continentales agregadas se extendían desde el Polo Sur hasta prácticamente el Polo Norte, atravesando el ecuador, algo que bloqueaba la circulación tanto de las aguas oceánicas tropicales cálidas como de las aguas polares frías alrededor del mundo (la cinta transportadora que hemos examinado en el capítulo 8), y obstruía la transferencia de calor desde el ecuador hasta los polos. El hecho de que Gondwana estuviera situado sobre el Polo Sur también contribuía a la acumulación de una gruesa capa de hielo en la región; tal como hemos visto, los casquetes de hielo no pueden crecer tanto sobre el océano abierto.

Los bosques del Carbonífero, que crecían vigorosamente, fueron también en parte los responsables de desencadenar estas condiciones glaciales.[17] Los árboles habían estado absorbiendo dióxido de carbono del aire para su fotosíntesis, y cuando morían y gran parte de su materia orgánica quedaba aprisionada como turba en lugar de pudrirse, no volvían a liberar este carbono al aire. De resultas de ello, la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera se redujo de manera considerable, y los bajos niveles de este gas de efecto invernadero debieron de contribuir asimismo al enfriamiento global. Y, puesto que la descomposición de organismos muertos consume oxígeno del aire para producir dióxido de carbono, un aumento de la producción de turba condujo también a un incremento de los niveles de oxígeno en la atmósfera, quizá de hasta el 35 por ciento[18] (en la actualidad la concentración en nuestra atmósfera de este gas vital para la vida es del 20 por ciento). Se cree que este nivel elevado de oxígeno contribuyó a la evolución de los insectos gigantes, como las libélulas de grandes alas que hemos mencionado antes.

Por lo tanto, desde el Carbonífero medio la Tierra se estaba convirtiendo en una cámara frigorífica. Las fluctuaciones de la temperatura global, y con ellas la cantidad de agua acumulada en los casquetes de hielo (regida por los bamboleos en la órbita de la Tierra, tal como hemos visto en el capítulo 2), dieron lugar a niveles del mar que aumentaban y disminuían de un modo cíclico, exactamente igual que durante las edades de hielo de los últimos 2,5 millones de años. A medida que el mar del Carbonífero subía y bajaba, avanzaba una y otra vez sobre vastas extensiones de las marismas y pantanos de las tierras bajas y después retrocedía. Durante el proceso, la materia vegetal quedó enterrada regularmente bajo capas de sedimentos marinos, para transformarse a la postre en vetas de carbón. De hecho, si observamos las capas de roca expuestas en un yacimiento de este material veremos una secuencia vertical consistente en una veta de carbón, sedimentos marinos como lutitas, sedimentos lagunares como esquistos y a continuación areniscas de un delta fluvial sobre el que se ha formado una nueva capa de suelo, seguidas de otra veta de carbón. Estas capas apiladas dentro del yacimiento pueden leerse como un manuscrito geológico que relata la inundación repetida de las cuencas cenagosas.

En lugares como Gales del Sur o las Midlands de Inglaterra, donde se encuentra carbón junto a siderita, tanto el combustible como la mena para la fundición pueden obtenerse del mismo lugar; es como si la Tierra nos ofreciera dos artículos por el precio de uno, y a veces incluso obtenemos tres por el precio de uno. Situadas justo por debajo del yacimiento de carbón y a menudo en plena superficie, en el paisaje circundante, hay calizas formadas durante el Carbonífero temprano, cuando los niveles oceánicos eran altos e inundaron las tierras bajas, formando mares someros y cálidos. Tal como hemos visto en el capítulo 6, la caliza es utilizada como en la metalurgia para ayudar a la fundición del metal y eliminar impurezas. Además, las capas de soporte situadas debajo de cada veta de carbón, que a menudo conservan las raíces fosilizadas de los árboles del pantano, suelen ser ricas en hidrosilicatos de aluminio. Estos minerales hacen que esta capa de arcilla sea muy refractaria y capaz de soportar temperaturas

elevadas, de 1.500 ºC o más, de manera que la naturaleza también nos suministra el material de construcción perfecto, arcilla refractaria, para revestir los hornos o los crisoles en los que verter el metal fundido.[19] Así, las condiciones cambiantes a lo largo del Carbonífero proporcionaron a veces en la misma zona, en estratos sucesivos, las materias primas para la Revolución industrial.

Fue esta inundación y enterramiento periódico de los pantanos de tierras bajas lo que conservó la turba y la comprimió bajo sucesivas capas de sedimento para formar carbón. Y las oscilaciones entre niveles del mar bajos en los periodos glaciales y elevados en los interglaciales, que reflejaban las condiciones gélidas de la época, eran una consecuencia directa de la tectónica de placas y de la configuración de los continentes del mundo. Pero hubo una segunda característica insólita de nuestro planeta durante el Carbonífero que contribuyó a la formación de carbón: las masas continentales no se hallaban simplemente arracimadas entre los polos Norte y Sur, sino que todavía entrechocaban activamente.

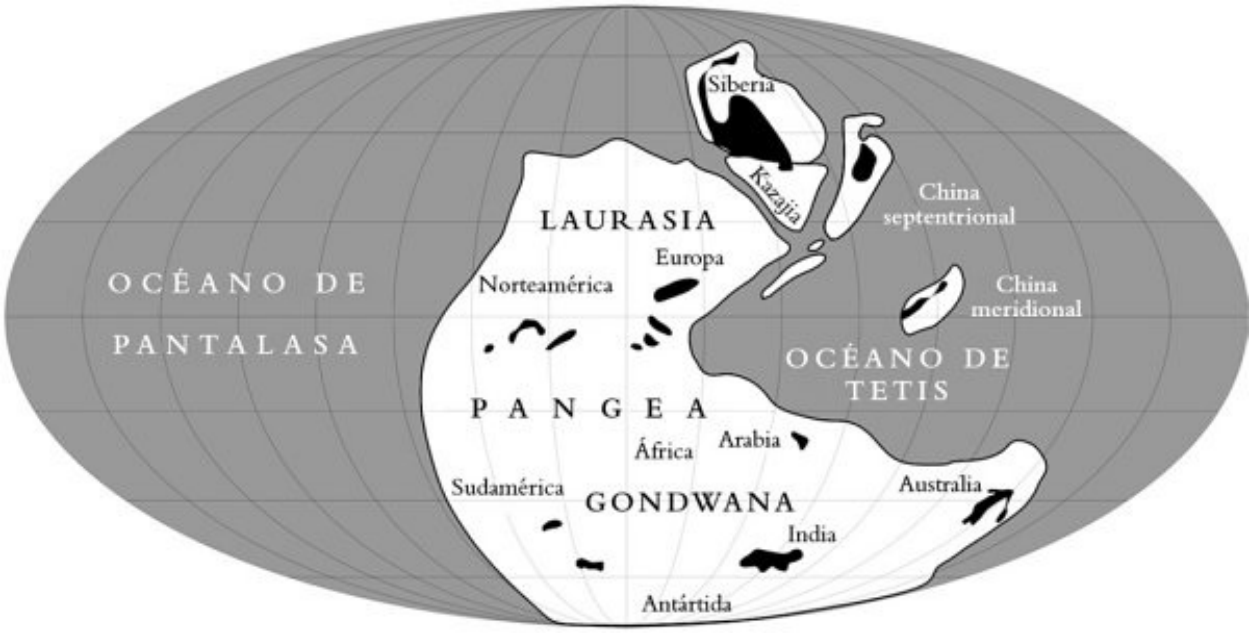


FIGURA 23. Principales cuencas en las que se formó carbón durante la configuración del supercontinente Pangea.

El periodo Carbonífero fue testigo de la formación progresiva del supercontinente Pangea, cuando el gran continente septentrional, Laurasia (que incluía Norteamérica y partes de Eurasia septentrional y occidental), colisionó con Gondwana (Sudamérica, África, India, Antártida y Australia) a lo largo del ecuador. Este lento proceso de trituración es conocido como Orogenia Varisca(95) y creó un grueso cinturón de cordilleras, entre ellas los Apalaches a lo largo de lo que ahora es el litoral oriental de Estados Unidos y Canadá, las montañas del Pequeño Atlas (o Antiatlas) en Marruecos (que habría sido una continuación de los Apalaches antes de que esta enorme cordillera se separara por la apertura del océano Atlántico) y otras muchas cordilleras en Europa, como los Pirineos, entre las actuales Francia y España.(96) Después, en el Carbonífero tardío, Siberia se deslizó desde el nordeste en esta colisión continental múltiple, soldándose a Europa oriental y dando lugar a los montes Urales.

Como hemos visto, la colisión de continentes no solo pliega cadenas de altas montañas, sino que también crea cuencas bajas, subsidentes, a lo largo de aquellas cuando la corteza se flexiona hacia abajo. Un buen ejemplo es la cuenca del Ganges; se encuentra a los pies del Himalaya, fue fruto de la colisión de las placas india y euroasiática y alberga los ríos Indo y Ganges, que fluyen desde las montañas al mar.

Estas cuencas de antepaís que se combaban hacia abajo fueron creadas también por los choques tectónicos del Carbonífero y proporcionaron el escenario de aquellas enormes zonas de pantanos ubicados en tierras bajas que tendían a inundarse periódicamente, y de esta manera cubrieron y conservaron la turba. Pero, para que se formen yacimientos de carbón y no se erosionen a causa de su exposición mientras prosigue el ciclo de deposición, es necesario que la cuenca también se halle en constante subsidencia. Esto es lo que resulta tan importante acerca de la incesante formación de Pangea durante el Carbonífero; las colisiones continentales mantuvieron a las cuencas deformándose y hundiéndose más o menos al mismo ritmo que el carbón se formaba, lo que permitió que se acumularan una serie de vetas enormemente gruesas.

Fue esta coincidencia aleatoria de varios factores, todos ellos actuando al mismo tiempo y en el mismo lugar, lo que hizo del Carbonífero un periodo tan único de la historia de la Tierra con vistas a crear los enormes yacimientos de carbón de los que acabamos dependiendo. El supercontinente Pangea estaba aún en plena formación, con bordes que entrechocaban y que se hallaban situados precisamente alrededor de los trópicos, y que creaban cuencas de antepaís apropiadas para que en ellas surgieran pantanos en un clima cálido y húmedo, perfecto para el crecimiento de los árboles. Estos pantanos fueron inundados repetidamente por repentinas subidas del nivel del mar durante un inusual periodo de épocas glaciales e interglaciales oscilantes, que enterraron y conservaron la turba, y se hundían continuamente, de manera que los estratos no eran erosionados de nuevo. El proceso de la tectónica de placas fue la fuerza definitiva detrás de todo esto. Habría periodos posteriores de formación de carbón en todo el mundo, pero ninguno sería tan productivo como durante la configuración de Pangea en el Carbonífero.[20]

Esta confluencia de factores planetarios alentó en última instancia la Revolución industrial. Sin los grandes yacimientos de carbón del Carbonífero, el desarrollo tecnológico de la humanidad podría haberse quedado estancado en el existente hace tres siglos. Podríamos estar utilizando todavía norias y molinos de viento, y labrando nuestros campos con arados tirados por caballos.

La política del carbón

Hubo muchas razones por las que la Revolución industrial empezara en Gran Bretaña. La escasez y el precio creciente de la madera (y por lo tanto del carbón vegetal) animaron que, como combustible, fuese reemplazada por el carbón allí donde ello fue posible. La economía del trabajo en las islas favoreció la sustitución de los caros artesanos por máquinas que, aunque requerían una elevada inversión inicial de capital, eran más productivas y necesitaban menos

operarios para funcionar. Y el Imperio británico proporcionaba algodón barato de América y posteriormente de India que promovió innovaciones que permitieron la producción más rápida de tejidos a partir de fibras. Así, aunque en Gran Bretaña la introducción de máquinas sustituyó la mano de obra humana, fueron los esclavos que trabajaban duramente en los campos de ultramar los que produjeron las materias primas, como el algodón, que impulsaron el proceso.

Pero aquella se benefició asimismo de una bonanza geológica (montañas de carbón del Carbonífero, fácilmente accesibles y de buena calidad, situadas bajo tierra y a la espera de ser extraídas) para impulsar su industrialización. En la década de 1840, los yacimientos de carbón de Gran Bretaña suministraban tanta energía que, para obtenerla utilizando carbón vegetal, habría sido necesario quemar anualmente 6 millones de hectáreas de bosque[21] (una superficie equivalente a un tercio de todo el país).

La Revolución industrial se extendió desde su lugar de origen a medida que las herramientas, técnicas y tecnologías para la extracción intensiva de carbón y la producción en masa de hierro y acero eran adoptadas en la Europa continental. Allí, la misma formación de carbón del Carbonífero que había alimentado a la industria de Gran Bretaña se extiende bajo tierra por el norte de Francia y Bélgica hasta la región del Ruhr en Alemania. Esta región se iba a convertir en la zona industrial central de Europa; un creciente de carbón que sería tan fundamental para la historia moderna como el Creciente Fértil lo fue para el mundo antiguo.[22] En Norteamérica, la transición al carbón tuvo lugar mucho más tarde; las colonias de toda la costa Este, mucho menos densamente pobladas, tuvieron acceso al principio a enormes zonas boscosas para producir carbón vegetal,[23] de forma que la industria norteamericana no empezó a sustituir a gran escala el de leña por el mineral hasta mediados del siglo XIX.[24] No obstante, en la década de 1890 Estados Unidos había superado a Gran Bretaña como líder mundial en la producción de hierro y acero.[25] En particular, Pittsburgh se hallaba bien situado para acceder fácilmente al mineral

de hierro, a la caliza como fundente y a los abundantes yacimientos de carbón de los montes Apalaches, una coincidencia geológica que impulsó la fortuna de algunos de los magnates más ricos de la era capitalista moderna, como Andrew Carnegie.

Actualmente, casi todas las minas de carbón que promovieron la Revolución industrial en Gran Bretaña han cerrado, pues el acceso a las vetas de carbón que quedaban era cada vez más difícil, se podía obtener más barato en el extranjero y se buscaban fuentes de energía menos contaminantes o renovables.(97) Quedan unas pocas minas a cielo abierto, pero la última mina profunda de Reino Unido, la de Kellingley, en Yorkshire, cerró en 2015.[27] Aun así, por sorprendente que parezca, la distribución de los yacimientos de carbón británicos, de 320 millones de años de antigüedad, todavía deja su impronta en el mapa político de la Gran Bretaña actual.

El Partido Laborista fue fundado en 1900 por el movimiento de los sindicatos del comercio, con lazos particularmente estrechos con los mineros del carbón británicos. Y aunque ha cambiado mucho a lo largo de los cien últimos años (desde un partido a la sombra de los liberales hasta el Nuevo Laborismo con Tony Blair, pasando por una victoria aplastante tras la Segunda Guerra Mundial), el profundo vínculo entre el carbón y la política ha perdurado durante generaciones. Tomemos, por ejemplo, los resultados de las elecciones generales más recientes, de 2017, que se muestran en la figura 24 (izquierda). Los comicios fueron mucho más reñidos de lo que se deduce del mapa, hubo ciudades muy pobladas y multiculturales como Londres, que tendieron a inclinarse por el laborismo, y los distritos electorales rurales, más grandes y escasamente poblados, que votaron de manera abrumadora por los conservadores. El resultado fue un Parlamento sin una mayoría clara, en el que el Partido Laborista obtuvo 262 escaños y el Partido Conservador, 318, insuficientes para un Gobierno estable.

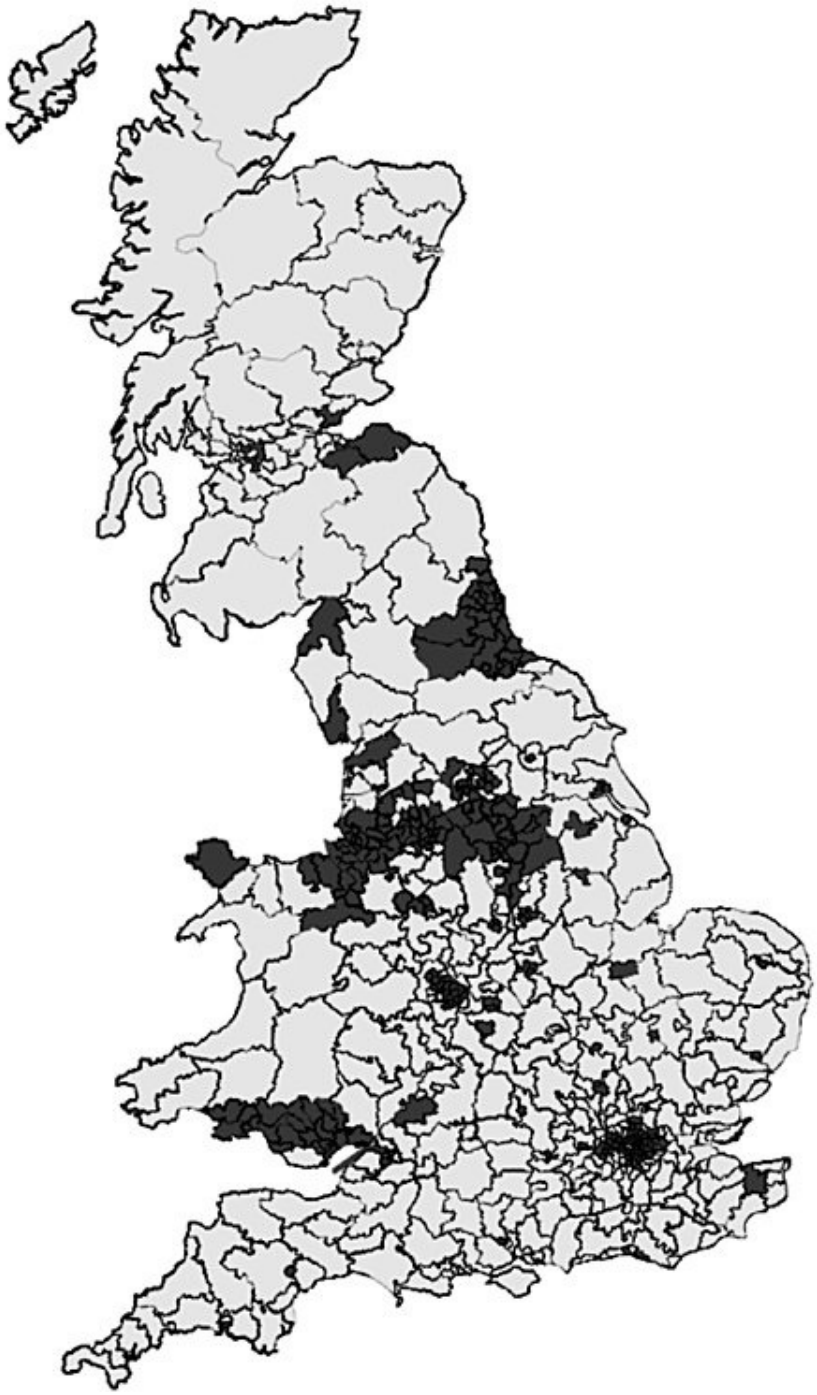
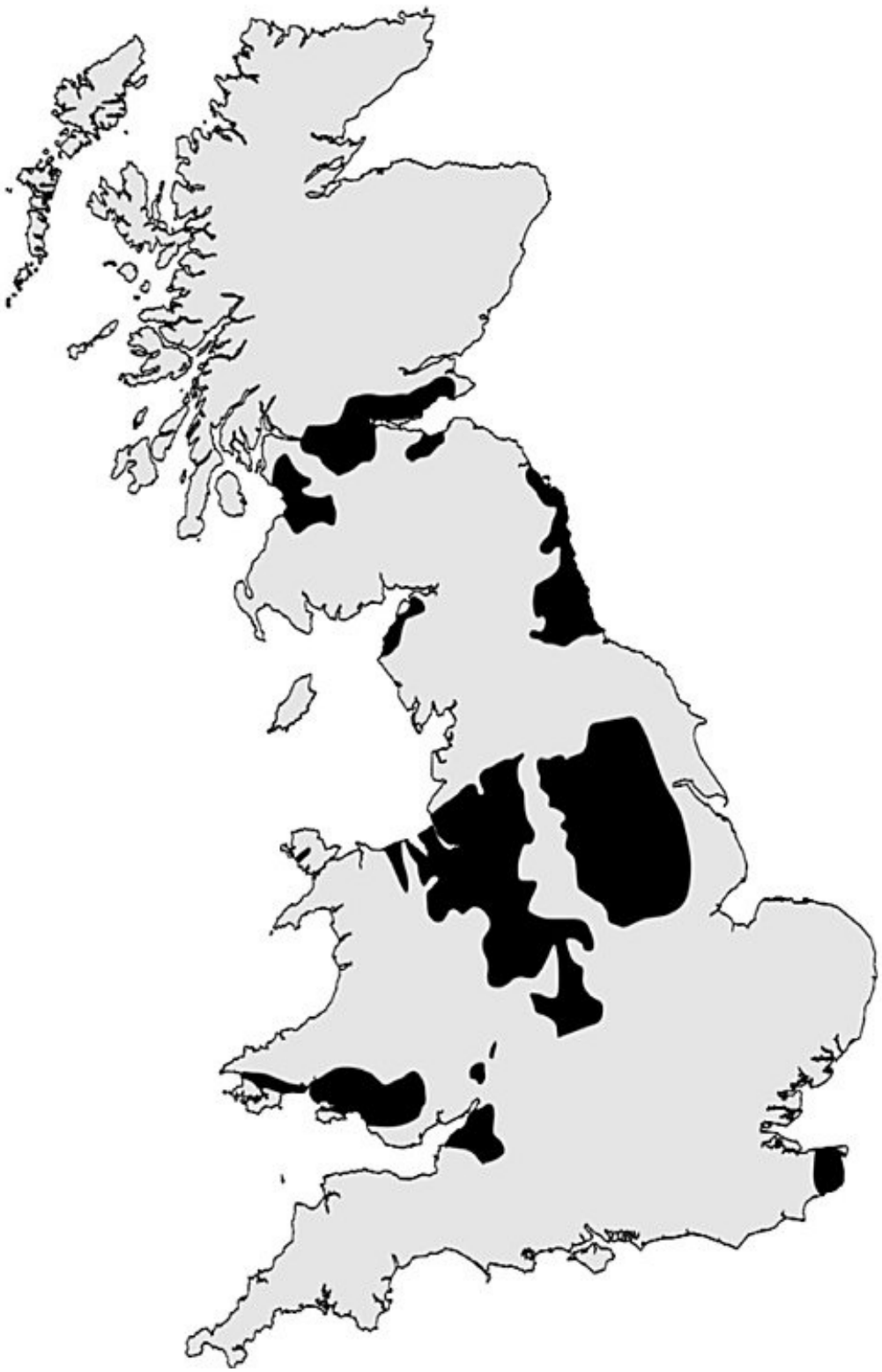


FIGURA 24. Mapa de los resultados de las elecciones celebradas en 2017 en Reino Unido (*arriba*), en el que se muestran las circunscripciones donde ganaron los laboristas (en color oscuro) y de los yacimientos de carbón del Carbonífero (*abajo*).



Pero consideremos con más atención la distribución de los votos a favor del Partido Laborista. La figura 24 (derecha) muestra la ubicación de los

yacimientos de carbón en Gran Bretaña, y resulta notable la elevada correlación entre el mapa político y el geológico. Los vastos yacimientos de Cumberland, Northumberland y Durham (el Gran Norte), Lancashire, Yorkshire, Staffordshire, Gales del Norte y Gales del Sur coinciden perfectamente con las zonas donde los laboristas obtuvieron más votos en las elecciones. Esta correlación fue todavía más evidente en las elecciones de 2015, cuando la derrota aplastante sufrida por el laborismo lo confinó a sus feudos, y la pauta se puso también de manifiesto en las décadas anteriores. El apoyo al principal partido de izquierdas en Reino Unido concuerda casi a la perfección con las regiones de yacimientos del Carbonífero.(98) Parece que la geología de las profundidades del subsuelo, conformada en tiempos remotos, se refleja aún hoy en día en la vida de la gente.

Aunque el carbón sigue siendo una parte crucial del repertorio energético mundial, sobre todo para generar electricidad y fabricar acero y hormigón, en la actualidad la política del carbón ha sido superada en gran medida por la de otro combustible fósil. Hoy en día, el petróleo es uno de los productos básicos más valiosos del mundo y la principal fuente energética de la humanidad, ya que supone un tercio de la energía total consumida por toda nuestra civilización.[28] Las tensiones geopolíticas acerca de su producción y transporte han dominado las relaciones internacionales durante décadas, y, tal como hemos visto en el capítulo 4, el petróleo es la principal razón del interés de Occidente (y de sus intervenciones) en el golfo Pérsico y en los cuellos de botella marítimos de todo el mundo por los que los superpetroleros tienen que pasar.

La muerte negra

Al igual que el carbón, hemos usado el petróleo (literalmente, «aceite de roca») durante milenios. El asfalto (bitumen) que se había filtrado hasta la superficie fue usado como un cemento en el levantamiento de las murallas de Babilonia

hace 4.000 años, y como material para construir carreteras hacia el año 625 a. C.[29] Alrededor del 350 d. C., los chinos perforaban pozos de petróleo y quemaban el combustible para evaporar salmuera y producir sal,[30] y en el siglo X los alquimistas persas lo destilaban con el objetivo de producir queroseno para lámparas. Pero no empezamos a utilizar el petróleo a una escala industrial hasta la segunda mitad del siglo XIX.

El crudo, el petróleo bruto, es una mezcla compleja de compuestos de carbono de distinto tamaño, que pueden separarse por destilación en fracciones diferentes. Las aplicaciones iniciales de dichas fracciones incluían lubricantes para los motores de vapor y otra maquinaria, y queroseno para iluminar las ciudades. Sin embargo, con el desarrollo del motor de combustión interna en Alemania en 1876, el consumo de petróleo por parte de la humanidad se aceleró.[31] La gasolina refinada a partir del crudo había sido considerada previamente demasiado volátil y peligrosa para ser de utilidad, pero demostró ser un combustible perfecto para accionar los pistones de estas nuevas máquinas. Hoy en día utilizamos incluso queroseno de aviación para volar por encima de las nubes en nuestros aviones. Los compuestos de hidrocarburos largos de estos combustibles líquidos contienen mucha más energía que el carbón, y representan así almacenes extraordinariamente densos y portátiles de energía para el transporte.[32] Además, el petróleo no solo acciona nuestros automóviles, sino que también es crucial para tender las lisas carreteras por las que conducimos; el viscoso asfalto está constituido por las moléculas de hidrocarburos de cadenas más largas en el crudo.[33]

El petróleo es muy atractivo porque ocupa las primeras posiciones en el índice de la Tasa de Retorno Energético (TRE o EROI, por sus siglas en inglés), es decir, solo es necesario invertir una pequeña cantidad de energía para extraerlo y refinarlo, pero de él se obtiene una cantidad enorme.[34] También es mucho más transportable que el carbón; el crudo líquido puede ser llevado a grandes distancias mediante oleoductos. Ha sido esta combinación ganadora de gran

densidad energética, transportabilidad y abundancia relativa lo que ha transformado al petróleo en la fuente energética más importante del mundo en la actualidad. Y no solo es básico como combustible. Alrededor del 16 por ciento de su producción anual no se quema, sino que se usa como materia prima para un amplio abanico de productos químicos orgánicos con los que se produce de todo, desde disolventes, adhesivos y plásticos hasta productos farmacéuticos. La agricultura intensiva moderna también sería imposible sin petróleo. Se utiliza para sintetizar plaguicidas y herbicidas que controlan el ambiente artificial de los campos de cultivo para obtener cosechas de gran rendimiento, acciona los tractores y las cosechadoras que trabajan los campos, y los fertilizantes artificiales son fabricados utilizando asimismo energía fósil. El petróleo hace funcionar nuestro automóvil, pero también lo ingerimos con cada comida.

Mientras que el carbón fue producido por la Tierra compactando y cociendo antiguos bosques de pantano, el petróleo y el gas natural se forman a partir de los restos de plancton microscópico marino. La vida ha prosperado en el mar durante muchísimo más tiempo del que las plantas han colonizado las masas continentales, pero la mayor parte del petróleo que alimenta nuestra civilización del siglo XXI se formó realmente unos 200 millones de años después de que florecieran los bosques del Carbonífero. Este petróleo se desarrolló en el océano de Tetis, ahora desaparecido, en dos enormes pulsos de hace alrededor de 155 y 100 millones de años,[35] durante los periodos Jurásico tardío y Cretácico medio.

Las aguas superficiales de los océanos del mundo, iluminadas por el sol, son hoy en día un hervidero de vida microscópica formada por unos bichos diminutos que reciben el nombre colectivo de «plancton». Los productores primarios que constituyen los cimientos de los ecosistemas oceánicos son el fitoplancton, como las diatomeas, las cocolitoforales y los dinoflagelados. Estos fotosintetizadores unicelulares crecen mediante la absorción de la energía de la luz solar para captar dióxido de carbono y fijarlo en azúcares y en todas las

demás moléculas orgánicas que necesitan; y, al igual que las plantas terrestres, liberan oxígeno como subproducto. Aunque a veces nos referimos a la pluviselva amazónica como los pulmones del planeta, en realidad son las masas a la deriva del fitoplancton marino las que producen la mayor parte del oxígeno que respiramos. Y cuando las condiciones son las adecuadas para su crecimiento, en el agua se acumulan poblaciones asombrosamente densas de estas células; las proliferaciones de color turquesa pálido de las cocolitoforales son visibles incluso desde el espacio.

El ámbito planctónico está asimismo repleto de zooplancton; ramoneadores y depredadores microscópicos como los foraminíferos y los radiolarios. Estos microorganismos pueden extender minúsculos tentáculos a través de los poros de sus duros caparazones, de formas muy complejas, para atrapar y devorar individuos planctónicos menos afortunados. Tanto el fitoplancton como el zooplancton son devorados a su vez por peces, que sirven de alimento a peces más grandes, o son filtrados del agua por las ballenas cuando dan sus grandes bocados, de modo que constituyen los cimientos de toda la red trófica oceánica. Cuando estas células del plancton eluden a sus depredadores y mueren por causas naturales, son consumidas por bacterias de la descomposición que reciclan el carbono y otros nutrientes elementales para devolverlos al sistema. Este ecosistema planctónico de productores primarios, depredadores, carroñeros y descomponedores es tan complejo como el Serengueti con sus hierbas, gacelas, guepardos y buitres, pero todo ello desarrollado a escala microscópica en las aguas superficiales centelleantes de los océanos del mundo.

Cuando los organismos del plancton mueren, caen a través de la columna de agua a profundidades cada vez más oscuras, junto con granos minerales que se hunden lentamente y que fueron aventados por el viento o arrastrados por los ríos desde los continentes. Esta precipitación continua y uniforme de materia orgánica en descomposición y de detritos inorgánicos hacia el fondo del mar se conoce como «nieve marina». Incluso las profundidades más abisales de los océanos actuales están bien oxigenadas por la circulación global del agua del

mar, de modo que la mayoría de los restos orgánicos son digeridos por bacterias y el carbono es reciclado.

Esto es lo que ocurre en la gran mayoría de los océanos en la actualidad. Pero para que se acumulen residuos orgánicos en el fondo del mar, que finalmente se transformen en petróleo, se necesita una elevada productividad planctónica en las aguas superficiales en combinación con una cantidad limitada de oxígeno en el fondo del océano que impida que las bacterias reciclen el carbono, de manera que, en cambio, este se acumule como un fango negro, rico en materia orgánica, sobre el fondo del mar (un proceso análogo a las condiciones necesarias para formar las vetas de carbón, como hemos visto anteriormente). Este fango cargado de carbono queda enterrado después bajo otros depósitos, de modo que es prensado y endurecido hasta formar oscuras rocas de esquistos. Este es el material de partida para el petróleo bruto y el gas natural en todo el mundo. A medida que los esquistos son enterrados cada vez a mayor profundidad, son calentados por el calor interno del planeta hasta que pasan a lo que se conoce como «ventana del petróleo», un rango de temperatura de unos 50-100 ºC. Cocidos a fuego lento, los compuestos orgánicos complejos de los organismos marinos muertos se descomponen en las moléculas de hidrocarburos de cadena larga del petróleo. Si los esquistos quedan expuestos a temperaturas más elevadas, de hasta unos 250 ºC, la química profunda descompone incluso estas cadenas largas en moléculas más pequeñas que contienen carbono, principalmente metano, pero también algo de etano, propano y butano; es decir, gas natural. La ventana del petróleo tiene lugar por regla general a una profundidad de entre 2 y 6 kilómetros, y los esquistos pueden tardar más de 10 millones de años en quedar enterrados a dicha profundidad por la constante sedimentación que se produce encima.

La enorme presión a esta profundidad estruja el petróleo líquido, hace que salga de su roca original y lo empuja hacia arriba a través de los estratos superpuestos. Si no encuentra nada que impida su ascensión y que lo mantenga bajo tierra, simplemente rezuma del fondo marino. La arenisca funciona muy

bien como roca reservorio, pues los espacios porosos entre los diferentes granos actúan para empapar el petróleo como una esponja geológica, y con una capa, pongamos por caso, de lutita de grano fino o de caliza impermeable situada encima para que actúe como un precinto, el petróleo y el gas quedan atrapados, listos para que nosotros perforemos la roca y succionemos los hidrocarburos.[36]

Tal como hemos visto, este proceso ya no tiene lugar en los océanos de hoy en día. Así pues, ¿cuáles fueron las singulares condiciones que se dieron en el antiguo mar de Tetis hace 100 millones de años que provocaron que quedaran acumulados tantos residuos de plancton y se convirtieran en petróleo?

En el periodo Cretácico, el gran supercontinente Pangea se había fragmentado y los continentes estaban volviendo a dispersarse. Ya no había una única y enorme masa continental a lo largo del ecuador. En lugar de ello, la colosal masa oceánica del Tetis se extendía por todas partes alrededor de la cintura del mundo, separando los continentes septentrionales de los australes. Ello significaba que las pautas de circulación oceánica eran muy diferentes en aquella época, con una corriente que podía fluir sin obstáculos en un circuito que rodeaba al mundo entero. Esta corriente ecuatorial estaba bañada por la radiación solar de los trópicos y se calentó mucho.

De hecho, el mundo del Cretácico medio era un invernadero abrasador; las temperaturas superficiales del mar eran muy altas, de 25-30 ºC, y todavía templadas en los polos, de 10-15 ºC. Allí no había casquetes polares, y Canadá e incluso la Antártida contaban con densos bosques. Sin casquetes de hielo que encerraran grandes cantidades de agua, los niveles del mar eran también mucho más altos que los de hoy en día. Además, en la corteza de la Tierra de aquella época se producían muchas fisuras activas, que abrían el Atlántico Norte y Sur a medida que los continentes se separaban. Cuando se crea nueva corteza oceánica en estos centros de expansión del fondo marino, este todavía está caliente y boyante, y la corteza sobresale en grandes y largas crestas de cordilleras submarinas. Estas enormes cordilleras mesooceánicas desplazaron muchísima agua y los niveles del mar subieron aún más. De hecho, la combinación de un

clima cálido y la expansión activa del fondo marino supuso que los niveles del mar fueran más altos durante el Cretácico tardío que en cualquier otro periodo a lo largo de los últimos mil millones de años de la historia de nuestro planeta; fueron quizá hasta 300 metros más elevados que en la actualidad.[37]

En consecuencia, el océano inundó áreas enormes de los continentes: Europa estaba en gran medida sumergida; el Brazo de Mar Interior Occidental anegó la parte central de Norteamérica, desde el golfo de México hasta el Ártico (tal como hemos visto en el capítulo 4, cuando consideramos las pautas electorales en el sudeste de Estados Unidos), y el Brazo de Mar Transahariano inundó África desde el norte, desde el Tetis hasta los actuales Libia, Chad, Níger y Nigeria. El vigoroso vulcanismo asociado al agrietamiento generalizado de la corteza liberó asimismo muchos nutrientes en los mares, que fertilizaron las proliferaciones de plancton. El Cretácico tardío fue por lo tanto un mundo no solo de océanos profundos, sino también de mares marginales cálidos, cuyas aguas proporcionaron unas condiciones de crecimiento ideales para el plancton.

Pero las condiciones también eran muy diferentes en el fondo de estos mares del Cretácico. En un mundo semejante a un invernadero, sin hielo polar que creara agua fría y densa, la circulación termohalina que hemos visto en el capítulo 3 dejó de funcionar; no había cinta transportadora mundial que hiciera circular el agua por las profundidades oceánicas. Como —un hecho fundamental — el agua caliente contiene mucho menos oxígeno disuelto, el poco que llegaba a las profundidades era usado rápidamente por las bacterias de la descomposición.

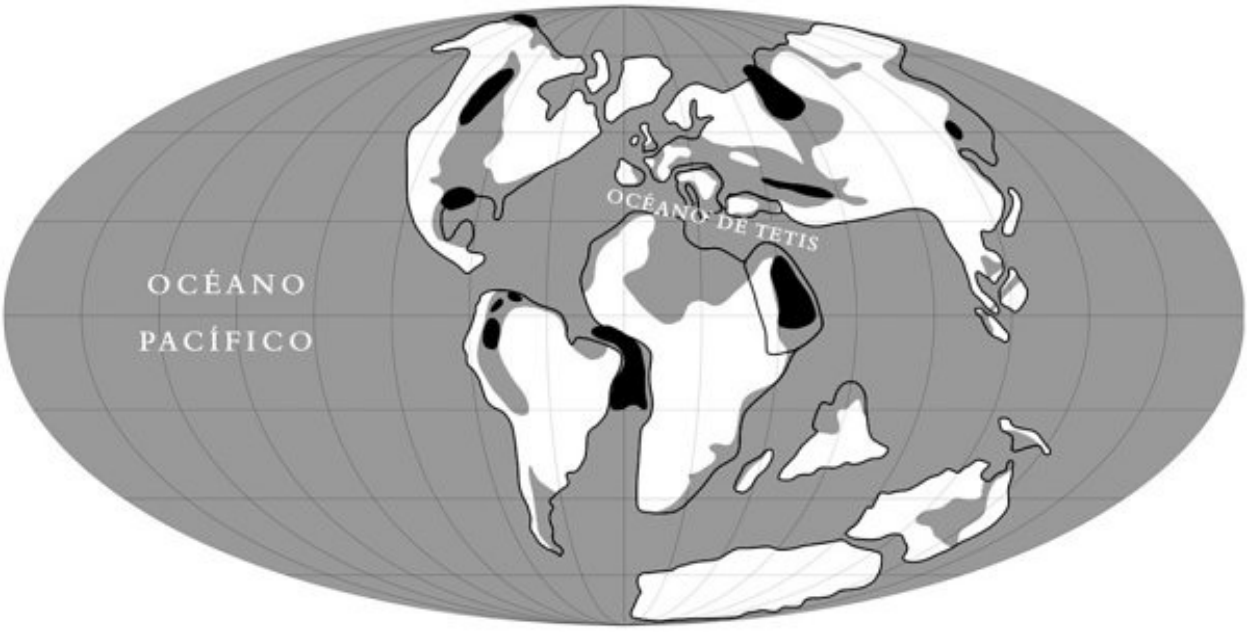


FIGURA 25. Regiones donde se formó petróleo en los mares anóxicos del Cretácico.

El resultado de todo ello fue que el fondo del mar del Cretácico se convirtió en una zona muerta desprovista de oxígeno, en la que las bacterias no pudieron descomponer adecuadamente la materia orgánica. Al mismo tiempo, la productividad frenética del plancton en las aguas superficiales cálidas y bien iluminadas ocasionó una verdadera ventisca de nieve marina que iba cayendo al fondo. Sin descomponerse, el material orgánico se acumulaba y quedaba enterrado a medida que caía más sedimento.(99) Como en el caso de los bosques de carbón del Carbonífero en cuencas pantanosas subsidentes, el sistema de reciclado del carbono en el fondo del mar del Cretácico se había averiado, lo que permitió que durante decenas de millones de años se acumulara materia orgánica. De resultas de ello, el fondo del mar anóxico se convirtió en un espeso lodo de fango rico en materia orgánica, que se transformó en vastos yacimientos de negras rocas de esquistos. El periodo durante el cual se acumularon cantidades enormes de esquistos en el mar de Tetis ha sido denominado por ello la «Muerte Negra».[39]

Nuestro planeta ha sido testigo tanto de episodios remotos como de otros más recientes de formación de crudo y gas natural, pero, con mucho, los más

prolíficos fueron los esquistos negros cargados de materia orgánica depositados alrededor de las plataformas continentales del océano de Tetis durante los periodos Jurásico tardío y Cretácico medio. El golfo Pérsico, la región más rica en petróleo y gas natural en la actualidad, así como los importantes yacimientos de Siberia occidental, el golfo de México, el mar del Norte y Venezuela, son todos ellos fruto de la combinación de procesos geológicos ocurridos en aquella época.[40]

Eliminando al intermediario

Aunque el carbón impulsó la Revolución industrial y el petróleo nos condujo a nuestra moderna civilización tecnológica, la explotación por parte de la humanidad de estos combustibles fósiles ha acarreado algunos incuestionables problemas de alcance mundial. Desde principios del siglo XVII hemos estado excavando de forma diligente este carbono enterrado que la Tierra tardó decenas de millones de años en acumular, y hemos quemado grandes cantidades en solo unos pocos siglos. Aunque el denominado «pico del petróleo» (es decir, el cenit de su producción) y la disminución del suministro de crudo generan preocupación, en el subsuelo todavía hay mucho carbón que resulta accesible; ciertamente, para cubrir la demanda de unos cuantos siglos a las tasas de consumo actual.[41] En este sentido, no nos enfrentamos a otra crisis energética sino a una crisis climática, nacida de la solución que dimos en el pasado a nuestra hambre de energía.

El dióxido de carbono liberado por la quema de combustibles fósiles ha hecho que su concentración en la atmósfera aumente rápidamente, y hoy en día es cerca de un 45 por ciento superior a la que había antes de la Revolución industrial. De hecho, la tasa actual de emisiones de gases de efecto invernadero por parte de la civilización humana no tiene precedentes en la historia geológica de al menos los últimos 66 millones de años. Quizá el periodo natural análogo que más se le

acerca sea el Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno[42] tratado en el capítulo 3, que fue testigo de un aumento rápido de la temperatura global que hizo que el mundo fuera 5-8 ºC más cálido que hoy en día.[43] En la actualidad estamos haciendo todo lo posible (e incluso lo imposible) por conseguir que nuestro clima global regrese a ese periodo.[44]

La presencia de estos gases de efecto invernadero en la atmósfera no es en sí misma el problema; de hecho, es su efecto aislante lo que a lo largo de toda la historia de nuestro planeta ha mantenido a la superficie de la Tierra a temperaturas por encima de la congelación, y por ello ha sido vital para sostener a la vida compleja.(100) No obstante, el nivel de dióxido de carbono, en rápido aumento, está alterando los equilibrios establecidos actualmente en el mundo natural y afectando a la manera en que sostenemos nuestra civilización. Ha provocado que los océanos sean cada vez más ácidos, lo cual amenaza a los arrecifes de coral, así como a las pesquerías de las que dependemos para nuestra alimentación.[45] Además, un clima global que se caldee hace también que el nivel del mar aumente, lo cual amenaza nuestras ciudades costeras, y modifica las pautas de precipitación mundiales, lo que tiene implicaciones importantes para la agricultura.

Pero el dióxido de carbono no es la única forma de contaminación que liberan los combustibles fósiles. Como ya hemos visto, se requieren condiciones de poco oxígeno para evitar la descomposición de los organismos muertos y así permitir que el carbono se acumule y se transforme en carbón, petróleo y gas natural. Estas mismas condiciones favorecen a su vez la formación de compuestos sulfurosos (esta es la razón por la que en la actualidad las ciénagas suelen tener un olor distintivo a huevos podridos, el del sulfuro de hidrógeno), que son liberados al quemar combustibles fósiles y reaccionan con la humedad del aire para crear ácido sulfúrico. Así pues, el suelo de los pantanos de carbón del Carbonífero y el sedimento de los fondos marinos del Cretácico, pobres en oxígeno, también contenían la lluvia ácida del futuro.[46]

Quemar combustibles fósiles ha sido como liberar al genio de la lámpara; nos

concedió nuestro deseo del siglo XVII de disfrutar de energía de manera prácticamente ilimitada, pero lo hizo con una tremenda malicia por las consecuencias impensadas que ello iba a traer consigo.

El reto al que nos enfrentamos ahora es invertir la tendencia que se ha producido desde la Revolución industrial y descarbonizar de nuevo nuestra economía. Tal como hemos visto al principio del capítulo, a lo largo de la historia nuestra intensificación de la agricultura y de la extracción de madera ha aumentado la tasa a la que la humanidad puede captar energía solar. Esta radiación solar se transforma en alimento para nuestro cuerpo, así como en las materias primas y los combustibles que necesitamos, y aprendimos cómo domeñar la energía mecánica del mundo natural mediante ruedas hidráulicas y molinos de viento. Parte de la solución a la crisis del carbono actual será retornar a estas prácticas anticuadas, pero con modernizaciones tecnológicas. Los parques fotovoltaicos producen electricidad directamente, y las presas hidroeléctricas y las turbinas eólicas son idénticas en su principio a las ruedas hidráulicas y los molinos, aunque asombrosamente más productivas que sus precursores tecnológicos.

Pero la próxima revolución en los esfuerzos perdurables de la humanidad para reunir cada vez mayores cantidades de energía quizá sea desarrollar la fusión nuclear, domeñar la fuente de energía de las mismísimas estrellas. Hemos visto en el capítulo 6 como la reacción nuclear que se produce en el seno de las estrellas fusiona entre sí los átomos de hidrógeno para crear helio, y en el proceso libera una gran cantidad de energía. Varias instalaciones de todo el mundo han hecho ya grandes avances en lo tocante a aumentar el tamaño y el rendimiento de reactores experimentales para crear centrales energéticas nucleares convencionales. El combustible de la fusión puede ser extraído del agua de mar, y el funcionamiento de estos reactores no genera dióxido de carbono ni residuos radiactivos de vida prolongada. De modo que la fusión nuclear ofrece energía no solo abundante, sino esta vez también limpia. En este

sentido habremos cerrado el círculo entero, desde las sociedades agrarias más antiguas, que captaban la energía de la radiación solar mediante sus campos de cultivo y la tala de bosques, hasta la posibilidad de instalar un sol en miniatura en nuestros reactores de fusión, con lo que nos libraríamos del intermediario. (101)

Coda

El mundo humano es hoy claramente visible desde el espacio, resaltado por el brillo eléctrico de nuestras ciudades y conurbaciones; una galaxia centelleante de estrellas artificiales. Esta imagen compuesta fue creada a partir de fotografías de satélite, que captan el panorama situado debajo en noches despejadas y que después fueron unidas en una única vista omnisciente de la Tierra desde los cielos. Así pues, se trata casi de una abstracción, que retrata simultáneamente todo el mundo por la noche y sin que las nubes lo oculten. Y no es un mapa completo de los asentamientos humanos (gran parte de la población mundial que vive en las naciones en vías de desarrollo es todavía rural), sino de la urbanización industrializada. Aun así, creo que ilustra a las mil maravillas la civilización global que hemos construido a lo largo de milenios y cómo hemos sido moldeados por el planeta en el que vivimos.

Las concentraciones humanas más densas saltan de inmediato a la vista: el norte de India y Pakistán, la llanura y el litoral chinos (dos de las primeras cunas de la civilización), así como el entramado de ciudades y autopistas del este de Estados Unidos, que se va difuminando suavemente hacia las llanuras centrales. La hacinada llanura del norte de Europa, que se extiende por partes de Francia, Alemania, Bélgica y Holanda, reluce con un color blanco brillante. Este es el resultado final del cambio gradual pero decisivo que se produjo en la distribución de la población a lo largo del primer milenio desde las orillas del Mediterráneo hacia el norte de Europa, impulsado por el uso de hachas y arados con el borde de hierro que transformaron los bosques y el suelo de arcilla blanda en tierras agrícolas muy productivas. El intrincado contorno del Mediterráneo (el charco que queda del antaño vasto mar de Tetis) puede discernirse claramente,

en especial la brillante franja costera oriental, que muestra la atestada urbanización de Israel, Líbano y Siria.

Igual de reveladoras son las extensiones oscuras en tierra. Se trata de los territorios y zonas climáticas inadecuados para los asentamientos humanos de cierta densidad. Las cordilleras destacan por su invisibilidad: el reluciente surco del valle del Po en la parte septentrional de Italia está rematado por los sombríos Alpes, y el resplandor intenso del norte de India está cortado de manera abrupta por la curva del Himalaya. Los desiertos aparecen como amplias manchas oscuras en el centro de Australia, el sur de Arabia y el norte de África. La franja de oasis del valle del Nilo y de su delta arde como un río de fuego a través de esta región por lo demás inhóspita. El triángulo radiante del subcontinente indio destaca también en medio de la banda de desiertos que se extienden alrededor del planeta, humedecidos por los monzones que estacionalmente absorben humedad del océano que los rodea.

Y no son solo las regiones hiperáridas del mundo las que han impedido los asentamientos humanos, sino también la zona ecuatorial de nuestro planeta, con

su elevada pluviosidad y, por lo tanto, con su densa pluviselva: África central, la Amazonia y el corazón de Indonesia. Esta ausencia de luz eléctrica revela tanto el brazo ascendente y lluvioso como la zona descendente y seca de la célula de Hadley, la corriente de circulación de la atmósfera terrestre.

En Asia, la rutilante espuma de la actividad humana está interrumpida por las cavidades oscuras de las heladas cumbres de la meseta del Tíbet y los desiertos del interior continental. Y hay dos bandas de brillo difuso aproximadamente paralelas que recorren de este a oeste el corazón del continente. La banda más meridional es el antiguo recorrido de la Ruta de la Seda, enhebrada entre montañas y desiertos. Antaño transportó artículos de comercio y saberes a lo largo y ancho de Eurasia, conectando las culturas de los extremos del continente, y hoy en día su huella es todavía visible desde el espacio por el lustre eléctrico de las ciudades que crecieron a partir de los antiguos pueblos y asentamientos comerciales de los oasis. La banda septentrional sigue la zona ecológica de las estepas herbáceas, que antaño fue una región salvaje y desconocida desde la que los pueblos nómadas amenazaron a las civilizaciones agrícolas del borde continental. La mitad occidental de esta zona ha sido transformada por el arado en vastos y ondulantes trigales, que alimentan a las nuevas ciudades situadas a lo largo de esta banda climática, ensartadas como perlas a lo largo del ferrocarril transiberiano.

El lector acaso piense que otras características del planeta que han desempeñado un papel tan crucial en nuestra historia no deberían ser perceptibles en este mapa de la luz humana, como, por ejemplo, el patrón global de bandas de vientos contrapuestas y las grandes corrientes que se arremolinan en los giros oceánicos. Las explotamos para construir vastas redes comerciales intercontinentales e imperios marítimos, que a su vez proporcionaron las materias primas y los impulsores económicos de la Revolución industrial. Pero, aunque las corrientes atmosféricas y marinas son invisibles, sus efectos todavía son observables en esta imagen. Las luces de barcos de pesca pueden discernirse desde el espacio, como si fueran enjambres de luciérnagas en las regiones

costeras donde los afloramientos oceánicos aportan a la superficie aguas ricas en nutrientes, y donde el plancton (y los peces que se alimentan de este) pueden medrar, como ocurre a lo largo de la plataforma continental de Perú. Asimismo, el resplandor de Noruega, Suecia y Finlandia revela que hay ocupación humana mucho más al norte de las latitudes correspondientes en Canadá y Siberia. Ello se debe a su clima más templado, garantizado por los vientos del oeste que soplan sobre el océano y por la corriente del Golfo; son caldeados por la luz solar transportada desde el Caribe. Incluso los profundos yacimientos subterráneos de energía fósil resultan visibles gracias a las torres de combustión que queman el gas natural que se desprende de los campos petrolíferos del mar del Norte, el golfo Pérsico y el norte de Siberia.

Esta sola imagen condensa y resume el relato humano expuesto hasta aquí, y hemos recorrido un largo camino desde nuestros orígenes. La Tierra es un lugar dinámico e inquieto, y sus rasgos faciales y procesos planetarios han desempeñado un papel decisivo a lo largo de toda la historia humana. Nuestra especie surgió en el seno de las condiciones tectónicas y climáticas únicas del Rift de África oriental, donde la versatilidad y la inteligencia que nos permitieron progresar, pasando de simio a hombre del espacio, nos las concedieron fluctuaciones ambientales generadas por los ciclos cósmicos. Y, antes de ello, el intenso pico de temperatura del PETM, hace 55,5 millones de años, fue testigo de la aparición y la rápida difusión de nuestro linaje, los primates, así como de los órdenes de mamíferos ungulados cuyos descendientes acabamos por domesticar. Otros cambios globales han sido más graduales, como la tendencia general al enfriamiento y a la desecación a lo largo de las últimas decenas de millones de años, que impulsó la propagación de las especies herbáceas que acabamos cultivando como cereales. Este enfriamiento planetario culminó en el periodo actual de edades de hielo intermitentes, que modelaron gran parte del paisaje y permitieron que nuestra especie poblara el mundo.

Toda la historia de la civilización no es más que un destello en el periodo interglacial actual; un momento transitorio de estabilidad climática. Durante estos últimos milenios hemos excavado las capas pétreas subterráneas de la Tierra y las hemos amontonado en la superficie para construir nuestros edificios y monumentos. Hemos excavado menas ricas en las que determinados procesos geológicos habían concentrado metales. Y en los últimos siglos hemos extraído el carbón formado durante un periodo inestable del pasado del planeta en el que los bosques antiguos se negaron a pudrirse, y hemos succionado el petróleo creado por el plancton que se acumulaba sobre el fondo marino anóxico de un mundo inundado.

Por el momento hemos dedicado a la agricultura aproximadamente un tercio del área continental total de la Tierra; las extracciones que hacemos de minerales en minas y canteras mueven más material que todos los ríos del mundo juntos, [1] y nuestras exhalaciones industriales liberan más dióxido de carbono que los volcanes, lo que caldea el clima de todo el planeta. Hemos alterado profundamente el mundo, pero solo en fecha reciente hemos alcanzado este dominio abrumador sobre la naturaleza. La Tierra preparó el escenario para la historia humana, y sus paisajes y recursos continúan dirigiendo nuestra civilización.

La Tierra nos hizo.

Bibliografía

Abi-Rached, L., M. J. Jobin, S. Kulkarni, A. McWhinnie, K. Dalva, L. Gragert, F. Babrzadeh, B. Gharizadeh, M. Luo y F. A. Plummer (2011), «The shaping of modern human immune systems by multi-regional admixture with archaic humans», *Science*, n.º 1209202.

Adams, S. P. (2008), «Warming the poor and growing consumers. Fuel philanthropy in the early Republic's urban north», *Journal of American History*, vol. 95, n.º 1, pp. 69-94.

Allen, R. C. (1997), «Agriculture and the origins of the state in ancient Egypt», *Explorations in Economic History*, vol. 34, n.º 2, pp. 135-154.

— (2009), *The British Industrial Revolution in Global Perspective*, Cambridge University Press.

Alvarez, W. (2018), *A Most Improbable Journey. A Big History of Our Planet and Ourselves*, W. W. Norton & Co. [Hay trad. cast.: *El viaje más improbable*, Crítica, 2017.]

Andersen, T. B., P. S. Jensen y C. V. Skovsgaard (2016), «The heavy plow and the agricultural revolution in Medieval Europe», *Journal of Development Economics*, vol. 118, pp. 133-149.

Angelakis, A. N., Y. M. Savvakis y G. Charalampakis (2006), *Minoan Aqueducts. A Pioneering Technology*, I Simposio Internacional de la Asociación Internacional del Agua sobre el Agua y las Tecnologías de Tratamiento de las Aguas Residuales en las Civilizaciones Antiguas, Heraclión, Grecia.

Anthony, D. W. (2010), *The Horse, the Wheel, and Language. How Bronze-Age Riders from the Eurasian Steppes Shaped the Modern World*, Princeton

University Press.

Arnason, U., A. Gullberg y A. Janke (1998), «Molecular timing of primate divergences as estimated by two nonprimate calibration points», *Journal of Molecular Evolution*, vol. 47, n.º 6, pp. 718-727.

Bailey, G. N., S. C. Reynolds y G. C. P. King (2011), «Landscapes of human evolution. Models and methods of tectonic geomorphology and the reconstruction of hominin landscapes», *Journal of Human Evolution*, vol. 60, n.º 3, pp. 257-280.

Balter, M. (2010), «The Tangled Roots of Agriculture», *Science*, vol. 327, n.º 5.964, pp. 404-406.

Bar-Yosef, O. (1998), «The Natufian culture in the Levant, threshold to the origins of agriculture», *Evolutionary Anthropology*, vol. 6, n.º 5, pp. 159-177.

Barr, J., T. Tassier y R. Trendafilov (2011), «Depth to bedrock and the formation of the Manhattan skyline, 1890-1915», *Journal of Economic History*, vol. 71, n.º 4, pp. 1.060-1.077.

Barrett, J. H., D. Orton, C. Johnstone, J. Harland, W. van Neer, A. Ervynck, C. Roberts, A. Locker, C. Amundsen, I. B. Enghoff, S. Hamilton-Dyer, D. Heinrich, A. K. Hufthammer, A. K. G. Jones, L. Jonsson, D. Makowiecki, P. Pope, T. C. O'Connell, T. de Roo y M. Richards (2011), «Interpreting the expansion of sea fishing in medieval Europe using stable isotope analysis of archaeological cod bones», *Journal of Archaeological Science*, vol. 38, n.º 7, pp. 1.516-1.524.

Barry, R. G., y E. A. Hall-McKim (2014), *Essentials of the Earth's Climate System*, Cambridge University Press.

Belfer-Cohen, A. (1991), «The Natufian in the Levant», *Annual Review of Anthropology*, vol. 20, pp. 167-186.

Belli, P., R. Bernabei, F. Cappella, R. Cerulli, C. J. Dai, F. A. Danevich, A. D'Angelo, A. Incicchitti, V. V. Kobychev, S. S. Nagorny, S. Nisi, F. Nozzoli, D. Prosperi, V. I. Tretyak y S. S. Yurchenko (2007), «Search for α

decay of natural Europium», *Nuclear Physics A*, vol. 789, n.º 1, pp. 15-29.

Berna, F., P. Goldberg, L. K. Horwitz, J. Brink, S. Holt, M. Bamford y M. Chazan (2012), «Microstratigraphic evidence of in situ fire in the Acheulean strata of Wonderwerk Cave, Northern Cape province, South Africa», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 109, n.º 20, pp. E1215-1220.

Bernstein, W. L. (2009), *A Splendid Exchange. How Trade Shaped the World*, Atlantic Books.

Bithas, K., y P. Kalimeris (2016), «A Brief History of Energy Use in Human Societies», en K. Bithas y P. Kalimeris, eds., *Revisiting the EnergyDevelopment Link. Evidence from the 20th Century for Knowledge-based and Developing Economies*, Springer International Publishing, pp. 5-10.

Boos, W. R., y Z. Kuang (2010), «Dominant control of the South Asian monsoon by orographic insulation versus plateau heating», *Nature*, vol. 463, pp. 218-223.

Bowden, R., T. S. MacFie, S. Myers, G. Hellenthal, E. Nerrienet, R. E. Bontrop, C. Freeman, P. Donnelly y N. I. Mundy (2012), «Genomic tools for evolution and conservation in the chimpanzee. *Pan troglodytes ellioti* is a genetically distinct population», *PLoS Genetics*, vol. 8, n.º 3, pp. 1-10.

Bowen, G. J., W. C. Clyde, P. L. Koch, S. Ting, J. Alroy, T. Tsubamoto, Y. Wang y Y. Wang (2002), «Mammalian dispersal at the Paleocene/Eocene boundary», *Science*, vol. 295, n.º 5.562, pp. 2.062-2.065.

BP (2017), *BP Statistical Review of World Energy*, junio de 2017.

Bradley, B. J. (2008), «Reconstructing phylogenies and phenotypes. A molecular view of human evolution», *Journal of Anatomy*, vol. 212, n.º 4, pp. 337-353.

Bramble, D. M., y D. E. Lieberman (2004), «Endurance running and the evolution of *Homo*», *Nature*, vol. 432, n.º 7.015, pp. 345-352.

Braudel, F. (1995), *A History of Civilizations*, Penguin. [Ed. original: *Grammaire des civilisations*, Flammarion, 1987.]

Brison, D. N. (2005), *Caves in the Odyssey*, XIV Congreso Internacional de Espeleología, Kalamos, Grecia, Sociedad Helénica de Espeleología.

Brooke, J. L. (2014), *Climate Change and the Course of Global History*, Cambridge University Press.

Brooks, N. (2006), «Cultural responses to aridity in the Middle Holocene and increased social complexity», *Quaternary International*, vol. 151, pp. 29-49.

—, I. Chiapello, S. D. Lernia, N. Drake, M. Legrand, C. Moulin y J. Prospero (2005), «The climate-environment-society nexus in the Sahara from prehistoric times to the present day», *Journal of North African Studies*, vol. 10, n.º 3-4, pp. 253-292.

Brotton, J. (2013), *A History of the World in Twelve Maps*, Penguin. [Hay trad. cast.: *Historia del mundo en 12 mapas*, Debate, 2014.]

Browne, J. (2014), *Seven Elements that Have Changed the World. Iron, Carbon, Gold, Silver, Uranium, Titanium, Silicon*, Weidenfeld & Nicolson.

Bryan, D. (2015), *Cosmos, Chaos and the Kosher Mentality*, Bloomsbury Publishing. [Hay trad. cast.: *El cosmos, el caos y el mundo venidero. Las antiguas raíces de la fe apocalíptica*, Crítica, 1995.]

Candela, P. A. (2005), «Ores in the Earth's crust», en R. L. Rudnick, ed., *The Crust*, Elsevier.

Cane, M. A., y P. Molnar (2001), «Closing of the Indonesian seaway as a precursor to east African aridification around 3-4 million years ago», *Nature*, vol. 411, pp. 157-162.

Cann, J., y K. Gillis (2004), «Hydrothermal insights from the Troodos ophiolite, Cyprus», en E. E. Davis y H. Elderfield, eds., *Hydrogeology of the Oceanic Lithosphere*, Cambridge University Press, pp. 274-310.

Cannat, M., A. Briais, C. Deplus, J. Escartin, J. Georgen, J. Lin, S. Mercouriev, C. Meyzen, M. Muller, G. Pouliquen, A. Rabain y P. da Silva (1999), «Mid-Atlantic Ridge-Azores hotspot interactions. Along-axis migration of a hotspot-derived event of enhanced magmatism 10 to 3 Ma ago», *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 173, n.º 3, pp. 257-269.

Carotenuto, F., N. Tsikaridze, L. Rook, D. Lordkipanidze, L. Longo, S. Condemi y P. Raia (2016), «Venturing out safely. The biogeography of *Homo erectus* dispersal out of Africa», *Journal of Human Evolution*, vol. 95, pp. 1-12.

Castree, N., D. Demeritt, D. Liverman y B. Rhoads (2009), *A Companion to Environmental Geography*, Wiley-Blackwell.

Chamberlin, J. E. (2013), *Island. How Islands Transform the World*, Elliott & Thompson.

Chen, Z. Q., y M. J. Benton (2012), «The timing and pattern of biotic recovery following the end-Permian mass extinction», *Nature Geoscience*, vol. 5, n.º 6, pp. 375-383.

Chorowicz, J. (2005), «The East African rift system», *Journal of African Earth Sciences*, vol. 43, n.º 1, pp. 379-410.

Clapper, J. R. (2013), *Worldwide Threat Assessment of the US Intelligence Community*, Oficina del Director de la Inteligencia Nacional, Washington D. C.

Clift, P. D., K. V. Hodges, D. Heslop, R. Hannigan, H. van Long y G. Calves (2008), «Correlation of Himalayan exhumation rates and Asian monsoon intensity», *Nature Geoscience*, vol. 1, n.º 12, pp. 875-880.

Constantinou, G. (1982), «Geological features and ancient exploitation of the cupriferous sulphide orebodies of Cyprus», en J. D. Muhly, R. Maddin y V. Karageorghis, eds., *Early Metallurgy in Cyprus, 4000-500 BC*, Nicosia, Pierides Foundation, pp. 13-23.

Corones, M. (2015), «Mapping world oil transport», <http://blogs.reuters.com/data-dive/2015/03/27/mapping-world-oil-transport/>.

Cowie, J. (2012), *Climate Change. Biological and Human Aspects*, Cambridge University Press.

Crowley, R. (2016), *Conquerors. How Portugal Forged the First Global Empire*, Faber & Faber. [Hay trad. cast.: *El mar sin fin*, Ático de Libros, 2018.]

Crutzen, P. J., y E. F. Stoermer (2000), «The "Anthropocene"», *International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) Newsletter*, n.º 41, pp. 17-18.

Cunningham, C. G., R. E. Zartman, E. H. McKee, R. O. Rye, C. W. Naeser, O. Sanjinés, G. E. Ericksen y F. Tavera (1996), «The age and thermal history of Cerro Rico de Potosí, Bolivia», *Mineralium Deposita*, vol. 31, n.º 5, pp. 374-385.

Curry, A. (2013), «Archaeology. The milk revolution», *Nature*, vol. 500, pp. 20-22.

Dalvi, S. (2015), *Fundamentals of Oil & Gas Industry for Beginners*, Notion Press.

Dartnell, L. (2015), *The Knowledge. How to Rebuild Our World after an Apocalypse*, Vintage. [Hay trad. cast.: *Abrir en caso de apocalipsis*, Debate, 2015.]

De Blij, H. (2011), *The Power of Place. Geography, Destiny, and Globalization's Rough Landscape*, Oxford University Press.

De Ryck, I., A. Adriaens y F. Adams (2005), «An overview of Mesopotamian bronze metallurgy during the 3rd millennium BC», *Journal of Cultural Heritage*, vol. 6, n.º 3, pp. 261-268.

Diamond, J. (1998), *Guns, Germs and Steel. A Short History of Everybody for the Last 13,000 Years*, Vintage. [Hay trad. cast.: *Armas, gérmenes y acero*, Debate, 2006.]

— (2011), *Collapse. How Societies Choose to Fail or Survive*, Penguin. [Hay trad. cast.: *Colapso. Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen*, Debate, 2007.]

—, y P. Bellwood (2003), «Farmers and their languages. The first expansions», *Science*, vol. 300, n.º 5.619, pp. 597-603.

Douglas, I., y N. Lawson (2000), «The human dimensions of geomorphological work in Britain», *Journal of Industrial Ecology*, vol. 4, n.º 2, pp. 9-33.

Dutch, S. (2002), «Geology and Election 2000», <www.uwgb.edu/dutchs/Research/Elec2000/GeolElec2000.HTML/>.

— (2006), «What If? The Ice Ages Had Been A Little Less Icy?», *Geological Society of America Meeting Abstracts*, Filadelfia, vol. 38, n.º 7, pp. 73-75.

East, W. G. (1967), *The Geography behind History*, W. W. Norton & Co.

Eriksson, A., L. Betti, A. D. Friend, S. J. Lycett, J. S. Singarayer, N. von CramonTaubadel, P. J. Valdés, F. Balloux y A. Manica (2012), «Late Pleistocene climate change and the global expansion of anatomically modern humans», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, n.º 40, p. 16.089.

Erisman, J. W., M. A. Sutton, J. Galloway, Z. Klimont y W. Winiwarter (2008), «How a century of ammonia synthesis changed the world», *Nature Geoscience*, vol. 1, n.º 10, pp. 636-639.

Ermini, L., C. D. Sarkissian, E. Willerslev y L. Orlando (2015), «Major transitions in human evolution revisited. A tribute to ancient DNA», *Journal of Human Evolution*, vol. 79, pp. 4-20.

Fagan, B. (2001), *The Little Ice Age. How Climate Made History 1300-1850*, Basic Books. [Hay trad. cast.: *La Pequeña Edad de Hielo. Cómo el clima afectó a la historia de Europa (1300-1850)*, Gedisa, 2008.]

Falkowski, P. G. (2015), *Life's Engines. How Microbes Made Earth Habitable*, Princeton University Press.

Fer, I., B. Tietjen, F. Jeltsch y M. H. Trauth (2017), «Modelling vegetation change during Late Cenozoic uplift of the East African plateaus», *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, vol. 467, pp. 120-130.

Fernández-Armesto, F. (2002), *Civilizations. Culture, Ambition, and the Transformation of Nature*, Free Press. [Hay trad. cast.: *Civilizaciones. La lucha del hombre por controlar la naturaleza*, Santillana, 2002.]

Feurdean, A., S. A. Bhagwat, K. J. Willis, H. J. B. Birks, H. Lischke y T. Hickler (2013), «Tree migration-rates. Narrowing the gap between inferred post-glacial rates and projected rates», *PLoS One*, vol. 8, n.º 8, p. e71797.

Fish, S. (2010), *The Manila-Acapulco Galleons. The Treasure Ships of the Pacific*, AuthorHouse.

Fokkens, H., y A. Harding (2013), *The Oxford Handbook of the European Bronze Age*, Oxford University Press.

Force, E. R. (2008), «Tectonic environments of ancient civilizations in the eastern hemisphere», *Geoarchaeology*, vol. 23, n.º 5, pp. 644-653.

— (2015), *Impact of Tectonic Activity on Ancient Civilizations. Recurrent Shakeups, Tenacity, Resilience, and Change*, Lexington Books.

—, y B. G. McFadgen (2010), «Tectonic environments of ancient civilizations. Opportunities for archaeoseismological and anthropological studies», en M. Sintubin, I. S. Stewart, T. M. Niemi y E. Altunel, eds., *Ancient Earthquakes*, Geological Society of America.

— (2012), *Influences of Active Tectonism on Human Development. A Review and Neolithic Example*, Climates, Landscapes, and Civilizations (Geophysical Monograph Series, n.º 198), American Geophysical Union.

Fortey, R. (2005), *The Earth. An Intimate History*, Harper Perennial.

— (2010), *The Hidden Landscape. A Journey into the Geological Past*, Bodley Head.

Frankopan, P. (2016), *The Silk Roads. A New History of the World*, Bloomsbury. [Hay trad. cast.: *El corazón del mundo. Una nueva historia universal*, Crítica, 2016.]

Franks, J. W. (1960), «Interglacial deposits at Trafalgar Square, London», *New Phytologist*, vol. 59, n.º 2, pp. 145-152.

Friedman, G. (2017), «There are 2 choke points that threaten oil trade between the Persian Gulf and East Asia», <www.businessinsider.com/maps-oil-trade-choke-points-person-gulf-and-east-asia-2017-4?IR=T>.

Fromkin, D. (2000), *Way of the World*, Vintage.

Fuller, D. Q., T. Denham, M. Arroyo-Kalin, L. Lucas, C. J. Stevens, L. Qin, R. G. Allaby y M. D. Purugganan (2014), «Convergent evolution and parallelism in plant domestication revealed by an expanding archaeological record», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 111, n.º 17, pp. 6.147-6.152.

García-Castellanos, D., F. Estrada, I. Jiménez-Munt, C. Gorini, M. Fernàndez, J. Vergés y R. de Vicente (2009), «Catastrophic flood of the Mediterranean after the Messinian salinity crisis», *Nature*, vol. 462, p. 778.

Garzanti, E., A. I. Al-Juboury, Y. Zoleikhaei, P. Vermeesch, J. Jotheri, D. B. Akkoca, A. K. Obaid, M. B. Allen, S. Ando, M. Limonta, M. Padoan, A. Resentini, M. Rittner y G. Vezzoli (2016), «The Euphrates-Tigris-Karun river system. Provenance, recycling and dispersal of quartz-poor foreland-basin sediments in arid climate», *Earth-Science Reviews*, vol. 162, pp. 107-128.

Gatti, E., y C. Oppenheimer (2012), «Utilization of Distal Tephra Records for Understanding Climatic and Environmental Consequences of the Youngest Toba Tuff», en L. Giosan, D.Q. Fuller, K. Nicoll, R. K. Flad y P. D. Clift, eds., *Climates, Landscapes, and Civilizations*, American Geophysical Union Monograph Series, n.º 198, pp. 63-74.

Gehler, A., P. D. Gingerich y A. Pack (2016), «Temperature and atmospheric CO_2 concentration estimates through the PETM using triple oxygen isotope analysis of mammalian bioapatite», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 113, n.º 28, pp. 7.739-7.744.

Gibbard, P. (2007), «Europe cut adrift», *Nature*, vol. 448, p. 259.

Gibbons, A. (1998), «Ancient island tools suggest *Homo erectus* was a seafarer», *Science*, vol. 279, n.º 5.357, pp. 1.635-1.637.

Gingerich, P. D. (2006), «Environment and evolution through the PaleoceneEocene thermal maximum», *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 21, n.º 5, pp. 246-253.

Giosan, L., P. D. Clift, M. G. Macklin, D. Q. Fuller, S. Constantinescu, J. A. Durcan, T. Stevens, G. A. T. Duller, A. R. Tabrez, K. Gangal, R. Adhikari, A. Alizai, F. Filip, S. Van Laningham y J. P. M. Syvitski (2012), «Fluvial landscapes of the Harappan civilization», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 109, n.º 26, pp.

E1688-1694.

Goody, J. (2012), *Metals, Culture and Capitalism. An Essay on the Origins of the Modern World*, Cambridge University Press.

Graedel, T. E., G. Gunn y L. T. Espinoza (2014), «Metal resources, use and criticality», en G. Gunn, ed., *Critical Metals Handbook*, AGU/Wiley, pp. 1-19.

Greene, K. (2000), «Technological innovation and economic progress in the ancient world. M. I. Finley re-considered», *Economic History Review*, vol. 53, n.º 1, pp. 29-59.

Gregory, K. J. (2010), *The Earth's Land Surface. Landforms and Processes in Geomorphology*, SAGE Publications.

Grosman, L., N. D. Munro y A. Belfer-Cohen (2008), «A 12,000-year-old Shaman burial from the southern Levant (Israel)», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 105, n.º 46, pp. 17.665-17.669.

Guimaraes, P. R., M. Galetti y P. Jordano (2008), «Seed dispersal anachronisms. Rethinking the fruits extinct megafauna ate», *PLoS One*, vol. 3, n.º 3.

Guinotte, J. M., y V. J. Fabry (2008), «Ocean acidification and its potential effects on marine ecosystems», *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 1.134, n.º 1, pp. 320-342.

Gunn, G. (2014), «Platinum-group metals», en G. Gunn, ed., *Critical Metals Handbook*, AGU/Wiley, pp. 284-311.

Gupta, S., J. S. Collier, D. Garcia-Moreno, F. Oggioni, A. Trentesaux, K. Vanneste, M. de Batist, T. Camelbeeck, G. Potter, B. van Vliet-Lanoe y J. C. R. Arthur (2017), «Two-stage opening of the Dover Strait and the origin of island Britain», *Nature Communications*, n.º 8, pp. 1-12.

Gupta, S., J. S. Collier, A. Palmer-Felgate y G. Potter (2007), «Catastrophic flooding origin of shelf valley systems in the English Channel», *Nature*, vol. 448, n.º 7.151, pp. 342-346.

Haase, D., J. Fink, G. Haase, R. Ruske, M. Pecsi, H. Richter, M. Altermann y K.

D. Jager (2007), «Loess in Europe—its spatial distribution based on a European Loess Map, scale 1:2,500,000», *Quaternary Science Reviews*, vol. 26, n.º 9-10, pp. 1.301-1.312.

Hagelüken, C. (2014), «Recycling of (critical) metals», en G. Gunn, ed., *Critical Metals Handbook*, AGU/Wiley, pp. 41-69.

Hamilton, T. L., D. A. Bryant y J. L. Macalady (2016), «The role of biology in planetary evolution. Cyanobacterial primary production in lowoxygen Proterozoic oceans», *Environmental Microbiology*, vol. 18, n.º 2, pp. 325-340.

Hanson, T. (2016), *The Triumph of Seeds. How Grains, Nuts, Kernels, Pulses, and Pips Conquered the Plant Kingdom and Shaped Human History*, Basic Books. [Hay trad. cast.: *El triunfo de las semillas. Cómo los granos, pepitas, legumbres y semillas han conquistado el reino vegetal y han moldeado la historia de la humanidad*, Crítica México, 2014.]

Headrick, D. R. (2010), *Power over Peoples. Technology, Environments, and Western Imperialism, 1400 to the Present*, Princeton University Press. [Hay trad. cast.: *El poder y el imperio. La tecnología y el imperialismo, de 1400 a la actualidad*, Crítica, 2011.]

Helly, J. J., y L. A. Levin (2004), «Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins», *Deep Sea Research Part I. Oceanographic Research Papers*, vol. 51, n.º 9, pp. 1.159-1.168.

Henrich, J. (2004), «Demography and cultural evolution. How adaptive cultural processes can produce maladaptive losses. The Tasmanian case», *American Antiquity*, vol. 69, n.º 2, pp. 197-214.

Hillstrom, K., y L. C. Hillstrom (2005), *Industrial Revolution in America. Iron and Steel*, ABC-CLIO.

Hodell, D. A., J. H. Curtis y M. Brenner (1995), «Possible role of climate in the collapse of Classic Maya civilization», *Nature*, vol. 375, pp. 391-394.

Hoffecker, J. F. (2005), «Innovation and technological knowledge in the upper paleolithic of northern Eurasia», *Evolutionary Anthropology*, vol. 14, n.º 5,

pp. 186-198.

Hoffman, P. T. (2017), *Why Did Europe Conquer the World?*, Princeton University Press. [Hay trad. cast.: *¿Por qué Europa conquistó el mundo?*, Crítica, 2016.]

Holen, S. R., T. A. Deméré, D. C. Fisher, R. Fullagar, J. B. Paces, G. T. Jefferson, J. M. Beeton, R. A. Cerutti, A. N. Rountrey, L. Vescera y K. A. Holen (2017), «A 130,000-year-old archaeological site in southern California, USA», *Nature*, vol. 544, pp. 479-483.

Hu, Y. W., H. Shang, H. W. Tong, O. Nehlich, W. Liu, C. H. Zhao, J. C. Yu, C. S. Wang, E. Trinkaus y M. P. Richards (2009), «Stable isotope dietary analysis of the Tianyuan 1 early modern human», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 106, n.º 27, pp. 10.971-10.974.

Huang, J., y M. B. McElroy (2014), «Contributions of the Hadley and Ferrel circulations to the energetics of the atmosphere over the past 32 years», *Journal of Climate*, vol. 27, n.º 7, pp. 2.656-2.666.

Hughey, J. R., P. Paschou, P. Drineas, D. Mastropaolo, D. M. Lotakis, P. A. Navas, M. Michalodimitrakis, J. A. Stamatoyannopoulos y G. Stamatoyannopoulos (2013), «A European population in Minoan Bronze Age Crete», *Nature Communications*, n.º 4.

Humphreys, D. (2014), «The mining industry and the supply of critical minerals», en G. Gunn, ed., *Critical Metals Handbook*, AGU/Wiley, pp. 20-40.

Jackson, J. (2006), «Fatal attraction. Living with earthquakes, the growth of villages into megacities, and earthquake vulnerability in the modern world», *Philosophical Transactions of the Royal Society A–Mathematical Physical and Engineering Sciences*, vol. 364, n.º 1.845, pp. 1.911-1.925.

Jacobs, J. (2018), «Europe’s half a million landfill sites potentially worth a fortune», *Financial Times*, <www.ft.com/content/0bf645dc-d8f111e7-9504-59efdb70e12f>.

Janzen, D. H., y P. S. Martin (1982), «Neotropical anachronisms. The fruits the gomphotheres ate», *Science*, vol. 215, n.º 4.528, pp. 19-27.

Ji, R., P. Cui, F. Ding, J. Geng, H. Gao, H. Zhang, J. Yu, S. Hu y H. Meng (2009), «Monophyletic origin of domestic bactrian camel (*Camelus bactrianus*) and its evolutionary relationship with the extant wild camel (*Camelus bactrianus ferus*)», *Animal Genetics*, vol. 40, n.º 4, pp. 377-382.

Jiao, C., G. Yu, N. He, A. Ma, J. Ge y Z. Hu (2017), «Spatial pattern of grassland aboveground biomass and its environmental controls in the Eurasian steppe», *Journal of Geographical Sciences*, vol. 27, n.º 1, pp. 3-22.

Jones, M., R. Jones y M. Woods (2004), *An Introduction to Political Geography. Space, Place and Politics*, Routledge.

Jung, G., M. Prange y M. Schulz (2016), «Influence of topography on tropical African vegetation coverage», *Climate Dynamics*, vol. 46, n.º 7, pp. 2.535-2.549.

Kaplan, R. D. (2017), *The Revenge of Geography*, Random House. [Hay trad. cast.: *La venganza de la geografía*, RBA, 2013.]

Karol, K. G., R. M. McCourt, M. T. Cimino y C. F. Delwiche (2001), «The closest living relatives of land plants», *Science*, vol. 294, n.º 5.550, pp. 2.351-2.353.

Kasen, D., B. Metzger, J. Barnes, E. Quataert y E. Ramirez-Ruiz (2017), «Origin of the heavy elements in binary neutron-star mergers from a gravitational-wave event», *Nature*, vol. 551, n.º 7.678, pp. 80-84.

Kassianidou, V. (2013), «Mining landscapes of prehistoric Cyprus», *Metalla*, vol. 20, n.º 2, pp. 5-57.

Keegan, J. (1993), *A History Of Warfare*, Pimlico. [Hay trad. cast.: *Historia de la guerra*, Planeta, 1995.]

Kenrick, P., y P. R. Crane (1997), «The origin and early evolution of plants on land», *Nature*, vol. 389, n.º 6.646, pp. 33-39.

Kilian, B., W. Martin y F. Salamini (2010), «Genetic diversity, evolution and domestication of wheat and barley in the Fertile Crescent», en M.

Glaubrecht, ed., *Evolution in Action. Case Studies in Adaptive Radiation, Speciation and the Origin of Biodiversity*, Springer, pp. 137-166.

Kimber, C. T. (2000), «Origin of domesticated Sorghum and its early diffusion to India and China», en C. W. Smith, ed., *Sorghum. Origin, History, Technology, and Production*, Wiley.

King, G., y G. Bailey (2006), «Tectonics and human evolution», *Antiquity*, vol. 80, n.º 308, pp. 265-286.

—, G. Bailey y D. Sturdy (1994), «Active tectonics and human survival strategies», *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, vol. 99, n.º B10, pp. 20.063-20.078.

Kinnaird, J. A. (2005), «The Bushveld Large Igneous Province», <www.largeigneousprovinces.org/sites/default/files/BushveldLIP.pdf>.

Klein, C. (2005), «Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world. Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin», *American Mineralogist*, vol. 90, n.º 10, pp. 1.473-1.499.

Kleine, T. (2011), «Earth's patchy late veneer», *Nature*, vol. 477, n.º 7.363, pp. 168-169.

Kneller, B. C., y M. Aftalion (1987), «The isotopic and structural age of the Aberdeen Granite», *Journal of the Geological Society*, vol. 144, n.º 5, pp. 717-721.

Koestler-Grack, R. A. (2010), *Mount Rushmore*, ABDO Publishing Co.

Kolarik, Z., y E. V. Renard (2005), «Potential applications of fission platinoids in industry», *Platinum Metals Review*, vol. 49, n.º 2, pp. 79-90.

Kourmpetli, S., y S. Drea (2014), «The fruit, the whole fruit, and everything about the fruit», *Journal of Experimental Botany*, vol. 65, n.º 16, pp. 4.491-4.503.

Krause, J., L. Orlando, D. Serre, B. Viola, K. Prüfer, M. P. Richards, J.-J. Hublin, C. Hänni, A. P. Derevianko y S. Pääbo (2007), «Neanderthals in central Asia and Siberia», *Nature*, vol. 449, pp. 902-904.

Krijgsman, W., F. J. Hilgen, I. Raffi, F. J. Sierro y D. S. Wilson (1999), «Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis», *Nature*, vol. 400, pp. 652-655.

Krivolutskaya, N., B. Gongalsky, A. Dolgal, N. Svirskaya y T. Vekshina (2016), «Siberian traps in the Norilsk area. A corrected scheme of magmatism evolution», *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, vol. 44, p. 042008.

Kroeker, K. J., R. L. Kordas, R. N. Crim y G. G. Singh (2010), «Meta-analysis reveals negative yet variable effects of ocean acidification on marine organisms», *Ecology Letters*, vol. 13, n.º 11, pp. 1.419-1.434.

Kukula, M. (2016), *The Intimate Universe. How the Stars are Closer Than You Think*, Quercus.

Laitin, D. D., J. Moortgat y A. L. Robinson (2012), «Geographic axes and the persistence of cultural diversity», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 109, n.º 26, pp. 10.263-10.268.

Larson, G., D. R. Piperno, R. G. Allaby, M. D. Purugganan, L. Andersson, M. Arroyo-Kalin, L. Barton, C. C. Vigueira, T. Denham, K. Dobney, A. N. Doust, P. Gepts, M. T. P. Gilbert, K. J. Gremillion, L. Lucas, L. Lukens, F. B. Marshall, K. M. Olsen, J. C. Pires, P. J. Richerson, R. R. de Casas, O. I. Sanjur, M. G. Thomas y D. Q. Fuller (2014), «Current perspectives and the future of domestication studies», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 111, n.º 17, pp. 6.139-6.146.

Larson, R. L. (1991), «Geological Consequences of Superplumes», *Geology*, vol. 19, n.º 10, pp. 963-966.

Leidwanger, J., C. Knappett, P. Arnaud, P. Arthur, E. Blake, C. Broodbank, T. Brughmans, T. Evans, S. Graham, E. S. Greene, B. Kowalzig, B. Mills, R. Rivers, T. F. Tartaron y R. V. d. Noort (2014), «A manifesto for the study of ancient Mediterranean maritime networks», *Antiquity*, vol. 88, n.º 342.

Lenton, T., y A. Watson (2013), *Revolutions that Made the Earth*, Oxford University Press.

Leveau, P. (1996), «The Barbegal water mill in its environment. Archaeology and the economic and social history of antiquity», *Journal of Roman Archaeology*, vol. 9, pp. 137-153.

Lewis, L. (2008), «There's gold in Japan's landfills», *Sunday Times*, <www.thetimes.co.uk/article/theres-gold-in-japans-landfills-gfv0lwdzh6n>.

Lewis, S. L., y M. A. Maslin (2015), «Defining the Anthropocene», *Nature*, vol. 519, p. 171.

Liddy, H. M., S. J. Feakins y J. E. Tierney (2016), «Cooling and drying in northeast Africa across the Pliocene», *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 449, pp. 430-438.

Lieberman, D. (2014), *The Story of the Human Body. Evolution, Health and Disease*, Penguin. [Hay trad. cast.: *La historia del cuerpo humano. Evolución, salud y enfermedad*, Pasado y Presente, 2014.]

Lim, L. (2004), «China's drive to transform Tibet», <http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/asia-pacific/3625588.stm>.

Londo, J. P., Y. C. Chiang, K. H. Hung, T. Y. Chiang y B. A. Schaal (2006), «Phylogeography of Asian wild rice, *Oryza rufipogon*, reveals multiple independent domestications of cultivated rice, *Oryza sativa*», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 103, n.º 25, pp. 9.578-9.583.

López, S., L. van Dorp y G. Hellenthal (2015), «Human dispersal out of Africa. A lasting debate», *Evolutionary Bioinformatics Online*, vol. 11, supl. 2, pp. 57-68.

Lutgens, F. K., y E. J. Tarbuck (2000), *The Atmosphere. An Introduction to Meteorology*, 8.ª ed., Prentice Hall.

Lyons, T. W., C. T. Reinhard y N. J. Planavsky (2014), «The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere», *Nature*, vol. 506, pp. 307-315.

Macalister, T. (2015), «Kellingley colliery closure. "Shabby end" for a once mighty industry», *The Guardian*, <www.theguardian.com/environ ment/2015/dec/18/kellingley-colliery-shabby-end-for-an-indus try>.

Mann, P., L. Gahagan y M. B. Gordon (2003), «Tectonic setting of the world's giant oil and gas fields», en M. T. Halbouty, ed., *Giant Oil and Gas Fields of the Decade 1990-1999*, AAPG Memoir n.º 78, pp. 15-105.

Marr, A. (2013), *A History of the World*, Pan.

Marshall, T. (2016), *Prisoners of Geography. Ten Maps That Tell You Everything You Need to Know About Global Politics*, Elliott & Thompson. [Hay trad. cast.: *Prisioneros de la geografía. Todo lo que hay que saber sobre política global a partir de diez mapas*, Península, 2017.]

Maslin, M. (2013), «How a changing landscape and climate shaped early humans», <https://theconversation.com/how-a-changing-landscapeand-climate-shaped-early-humans-19862>.

Maslin, M. A., C. M. Brierley, A. M. Milner, S. Shultz, M. H. Trauth y K. E. Wilson (2014), «East African climate pulses and early human evolution», *Quaternary Science Reviews*, vol. 101, pp. 1-17.

—, y B. Christensen (2007), «Tectonics, orbital forcing, global climate change, and human evolution in Africa. Introduction to the African paleoclimate special volume», *Journal of Human Evolution*, vol. 53, n.º 5, pp. 443-464.

Mayewski, P. A., E. E. Rohling, J. C. Stager, W. Karlen, K. A. Maasch, L. D. Meeker, E. A. Meyerson, F. Gasse, S. van Kreveld, K. Holmgren, J. Lee-Thorp, G. Rosqvist, F. Rack, M. Staubwasser, R. R. Schneider y E. J. Steig (2004), «Holocene climate variability», *Quaternary Research*, vol. 62, n.º 3, pp. 243-255.

McBrearty, S., y A. S. Brooks (2000), «The revolution that wasn't. A new interpretation of the origin of modern human behavior», *Journal of Human Evolution*, vol. 39, n.º 5, pp. 453-563.

McCormick, M., U. Buntgen, M. A. Cane, E. R. Cook, K. Harper, P. Huybers, T. Litt, S. W. Manning, P. A. Mayewski, A. F. M. More, K. Nicolussi y W. Tegel (2012), «Climate change during and after the Roman Empire. Reconstructing the past from scientific and historical evidence», *Journal of Interdisciplinary History*, vol. 43, n.º 2, pp. 169-220.

McDermott, R. (1998), *Risk-Taking in International Politics. Prospect Theory in American Foreign Policy*, University of Michigan Press.

McDougall, E. A. (1983), «The Sahara reconsidered. Pastoralism, politics and salt from the ninth through the twelfth centuries», *African Economic History*, vol. 12, pp. 263-286.

— (1990), «Salts of the Western Sahara. Myths, mysteries, and historical significance», *International Journal of African Historical Studies*, vol. 23, n.º 2, pp. 231-257.

McInerney, F. A., y S. L. Wing (2011), «The Paleocene-Eocene Thermal Maximum. A perturbation of carbon cycle, climate, and biosphere with implications for the future», *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 39, pp. 489-516.

McKie, R. (2013), «Why did the Neanderthals die out?», *The Guardian*, <www.theguardian.com/science/2013/jun/02/why-did-neander thals-die-out>.

McNeill, J. R. (2001), «The world according to Jared Diamond», *The History Teacher*, vol. 34, n.º 2, pp. 165-174.

— (2012a), «Global environmental history. The first 150,000 years», en J. R. McNeill y E. S. Mauldin, eds., *A Companion to Global Environmental History*, Blackwell Publishing, pp. 3-17.

— (2012b), «Biological exchange in global environmental history», en J. R. McNeill y E. S. Mauldin, eds., *A Companion to Global Environmental History*, Blackwell Publishing, pp. 433-451.

—, y W. H. McNeill (2004), *The Human Web. A Bird's-Eye View of World History*, W. W. Norton & Co. [Hay trad. cast.: *Las redes humanas. Una historia global del mundo*, Crítica, 2004.]

McNeill, W. H. (1963), *The Rise of the West. A History of the Human Community*, University of Chicago Press.

Mendez, A. (2011), «Distribution of landmasses of the Paleo-Earth», <http://phl.upr.edu/library/notes/distributionoflandmassesofthepa leo-earth>.

Metspalu, M., T. Kivisild, E. Metspalu, J. Parik, G. Hudjashov, K. Kaldma, P. Serk, M. Karmin, D. M. Behar, M. T. P. Gilbert, P. Endicott, S. Mastana, S. S. Papiha, K. Skorecki, A. Torroni y R. Villems (2004), «Most of the extant mtDNA boundaries in South and Southwest Asia were likely shaped during the initial settlement of Eurasia by anatomically modern humans», *BMC Genetics*, vol. 5, p. 26.

Millward, J. A. (2013), *The Silk Road. A Very Short Introduction*, Oxford University Press.

Mokyr, J. (1992), *The Lever of Riches. Technological Creativity and Economic Progress*, Oxford University Press. [Hay trad. cast.: *La palanca de la riqueza. Creatividad tecnológica y progreso económico*, Alianza, 1993.]

Monbiot, G. (2014), *Feral. Rewilding the Land, Sea and Human Life*, Penguin. [Hay trad. cast.: *Salvaje. Renaturalizar la tierra, el mar y la vida humana*, Capitán Swing, 2017.]

Moorjani, P., C. E. G. Amorim, P. F. Arndt y M. Przeworski (2016), «Variation in the molecular clock of primates», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, n.º 38, pp. 10.607-10.612.

Morris, I. (2011), *Why the West Rules—for Now. The Patterns of History and What They Reveal about the Future*, Profile Books. [Hay trad. cast.: *¿Por qué manda Occidente... por ahora? Las pautas del pasado y lo que revelan sobre nuestro futuro*, Ático de Libros, 2014.]

Morton, O. (2016), *The Planet Remade. How Geoengineering Could Change the World*, Granta.

Moylan, J. (2017), «First coal-free day in Britain since 1880s», BBC, <www.bbc.co.uk/news/uk-39675418>.

Murton, J. B., M. D. Bateman, S. R. Dallimore, J. T. Teller y Z. R. Yang (2010), «Identification of Younger Dryas outburst flood path from Lake Agassiz to the Arctic Ocean», *Nature*, vol. 464, n.º 7.289, pp. 740-743.

Myers, J. S. (1997), «Geology of granite», *Journal of the Royal Society of Western Australia*, vol. 80, pp. 87-100.

Needham, J. (1965), *Science and Civilisation in China. Vol. 4: Physics and Physical Technology. Part II: Mechanical Engineering*, Cambridge University Press.

Neimark, J. (2012), «How we won the hominid wars, and all the others died out», *Discover*, <http://discovermagazine.com/2011/evolution/23-how-we-won-the-hominid-wars>.

Nelsen, M. P., W. A. DiMichele, S. E. Peters y C. K. Boyce (2016), «Delayed fungal evolution did not cause the Paleozoic peak in coal production», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, n.º 9, pp. 2.442-2.447.

Nicoll, K. (2013), «Geoarchaeological Perspectives on Holocene Climate Change as a Civilizing Factor in the Egyptian Sahara» en L. Giosan, D. Q. Fuller, K. Nicoll, R. K. Flad y P. D. Clift, eds., *Climates, Landscapes, and Civilizations*, Geophysical Monograph Series, n.º 198, American Geophysical Union, pp. 157-162.

Nield, T. (2014), *Underlands. A Journey through Britain's Lost Landscape*, Granta.

Novacek, M. (2008), *Terra. Our 100 Million Year Old Ecosystem and the Threats That Now Put It at Risk*, Farrar, Straus and Giroux.

O'Dea, A., H. A. Lessios, A. G. Coates, R. I. Eytan, S. A. Restrepo-Moreno, A. L. Cione, L. S. Collins, A. de Queiroz, D. W. Farris, R. D. Norris, R. F. Stallard, M. O. Woodburne, O. Aguilera, M.-P. Aubry, W. A. Berggren, A. F. Budd, M. A. Cozzuol, S. E. Coppard, H. Duque-Caro, S. Finnegan, G. M. Gasparini, E. L. Grossman, K. G. Johnson, L. D. Keigwin, N. Knowlton, E. G. Leigh, J. S. Leonard- Pingel, P. B. Marko, N. D. Pyenson, P. G. Rachello-Dolmen, E. Soibelzon, L. Soibelzon, J. A. Todd, G. J. Vermeij y J. B. C. Jackson (2016), «Formation of the isthmus of Panama», *Science Advances*, vol. 2, n.º 8, p. e1600883.

Oleson, J. P. (2009), *The Oxford Handbook of Engineering and Technology in the Classical World*, Oxford University Press.

Oppenheimer, C. (2011), *Eruptions that Shook the World*, Cambridge University Press.

Orlando, L. (2016), «Back to the roots and routes of dromedary domestication», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 113, n.º 24, pp. 6.588-6.590.

Osborne, R. (2013), *Iron, Steam & Money. The Making of the Industrial Revolution*, Bodley Head.

Paine, L. (2013), *The Sea and Civilization. A Maritime History of the World*, Knopf.

Parker, G. (1976), «The "Military Revolution", 1560-1660—a Myth?», *Journal of Modern History*, vol. 48, n.º 2, pp. 196-214.

Patterson, N., D. J. Richter, S. Gnerre, E. S. Lander y D. Reich (2006), «Genetic evidence for complex speciation of humans and chimpanzees», *Nature*, vol. 441, pp. 1.103-1.108.

Petit, J. R., J. Jouzel, D. Raynaud, N. I. Barkov, J. M. Barnola, I. Basile, M. Bender, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delaygue, M. Delmotte, V. M. Kotlyakov, M. Legrand, V. Y. Lipenkov, C. Lorius, L. Pepin, C. Ritz, E. Saltzman y M. Stievenard (1999), «Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica», *Nature*, vol. 399, n.º 6.735, pp. 429-436.

Phillips, W. R. (1988), «Ancient civilizations and geology of the Eastern Mediterranean», en C. W. Griggs, ed., *Excavations at Seila, Egypt*, Brigham Young University, pp. 1-18.

Piantadosi, C. A. (2003), *The Biology of Human Survival. Life and Death in Extreme Environments*, Oxford University Press.

Pim, J., C. Peirce, A. B. Watts, I. Grevemeyer y A. Krabbenhoeft (2008), «Crustal structure and origin of the Cape Verde Rise», *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 272, n.º 1-2, pp. 422-428.

Pollard, J. (2017), «The Uffington White Horse geoglyph as sun-horse», *Antiquity*, vol. 91, n.º 356, pp. 406-420.

Potts, R. (2013), «Hominin evolution in settings of strong environmental variability», *Quaternary Science Reviews*, vol. 73, pp. 1-13.

—, y J. T. Faith (2015), «Alternating high and low climate variability. The context of natural selection and speciation in Plio-Pleistocene hominin evolution», *Journal of Human Evolution*, vol. 87, pp. 5-20.

Price, T. D. (2009), «Ancient farming in eastern North America», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 106, n.º 16, pp. 6.427-6.428.

Pye, K. (1995), «The nature, origin and accumulation of loess», *Quaternary Science Reviews*, vol. 14, n.º 7-8, pp. 653-667.

Pye, M. (2015), *The Edge of the World. How the North Sea Made Us Who We Are*, Penguin.

Qiu, J. (2014), «Double threat for Tibet», *Nature*, vol. 512, pp. 240-241.

Rackham, O. (2009), «Ancient forestry practices», en V. R. Squires, ed., *The Role of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries in Human Nutrition, Volume II*, EOLSS Publishers, pp. 29-47.

Raj, N. G. (2013), «The Tibetan plateau and the Indian monsoon», <www.thehindu.com/sci-tech/science/the-tibetan-plateau-and-the-indian-monsoon/article4651084.ece>.

Rajagopalan, B., y P. Molnar (2013), «Signatures of Tibetan Plateau heating on Indian summer monsoon rainfall variability», *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, vol. 118, n.º 3, pp. 1.170-1.178.

Ramachandran, S., y N. A. Rosenberg (2011), «A test of the influence of continental axes of orientation on patterns of human gene flow», *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 146, n.º 4, pp. 515-529.

Ramalho, R., G. Helffrich, D. N. Schmidt y D. Vance (2010), «Tracers of uplift and subsidence in the Cape Verde archipelago», *Journal of the Geological Society*, vol. 167, n.º 3, pp. 519-538.

Rasmussen, S. C. (2012), *How Glass Changed the World. The History and Chemistry of Glass from Antiquity to the 13th Century*, Springer.

Raudzens, G. (2003), *Technology, Disease, and Colonial Conquests, Sixteenth to Eighteenth Centuries. Essays Reappraising the Guns and Germs Theories*, Brill.

Reader, J. (2005), *Cities*, Vintage.

Reilinger, R., y S. McClusky (2011), «Nubia-Arabia-Eurasia plate motions and the dynamics of Mediterranean and Middle East tectonics», *Geophysical Journal International*, vol. 186, n.º 3, pp. 971-979.

Richerson, P. J., R. Boyd y R. L. Bettinger (2001), «Was agriculture impossible during the Pleistocene but mandatory during the Holocene? A climate change hypothesis», *American Antiquity*, vol. 66, n.º 3, pp. 387-411.

Rick, T. C., y J. M. Erlandson (2008), *Human Impacts on Ancient Marine Ecosystems. A Global Perspective*, University of California Press.

Ridley, J. (2013), *Ore Deposit Geology*, Cambridge University Press.

Roberts, B. W., C. P. Thornton y V. C. Pigott (2009), «Development of metallurgy in Eurasia», *Antiquity*, vol. 83, n.º 322, pp. 1.012-1.022.

Roberts, M. (1967), *Essays in Swedish History*, Londres, Weidenfeld & Nicolson.

Rodger, N. A. M. (2012), «Atlantic seafaring», en C. Nicholas y M. Philip, eds., *The Oxford Handbook of the Atlantic World. 1450-1850*, Oxford University Press.

Roebroeks, W., M. J. Sier, T. K. Nielsen, D. De Loecker, J. M. Pares, C. E. S. Arps y H. J. Mucher (2012), «Use of red ochre by early Neandertals», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 109, n.º 6, pp. 1.889-1.894.

Rogers, C. (2018), *The Military Revolution Debate. Readings on the Military Transformation of Early Modern Europe*, Routledge.

Rohrig, B. (2015), «Smartphones: smart chemistry», <www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemmatters/pa issues/ archive-2014-2015/smartphones.html>.

Rose, J. I., V. I. Usik, A. E. Marks, Y. H. Hilbert, C. S. Galletti, A. Parton, J. M.

Geiling, V. Cerny, M. W. Morley y R. G. Roberts (2011), «The Nubian complex of Dhofar, Oman. An African Middle Stone Age industry in Southern Arabia», *PloS One*, vol. 6, n.º 11.

Rosenbaum, G., G. S. Lister y C. Duboz (2002), «Reconstruction of the tectonic evolution of the western Mediterranean since the Oligocene», *Journal of the Virtual Explorer*, vol. 8, pp. 107-130.

Rothery, D. (2010), *Geology. The Key Ideas*, Teach Yourself.

Ruddiman, W. F. (2016), *Plows, Plagues, and Petroleum. How Humans Took Control of Climate*, Princeton University Press. [Hay trad. cast.: *Los tres jinetes del cambio climático. Una historia milenaria del hombre y el clima*, Turner, 2008.]

—, E. C. Ellis, J. O. Kaplan y D. Q. Fuller (2015), «Defining the epoch we live in», *Science*, vol. 348, n.º 6.230, pp. 38-39.

Sadykov, V. A., L. A. Isupova, I. A. Zolotarskii, L. N. Bobrova, A. S. Noskov, V. N. Parmon, E. A. Brushtein, T. V. Telyatnikova, V. I. Chernyshev y V. V. Lunin (2000), «Oxide catalysts for ammonia oxidation in nitric acid production. Properties and perspectives», *Applied Catalysis A. General*, vol. 204, n.º 1, pp. 59-87.

Sagan, C. (1973), *The Cosmic Connection. An Extraterrestrial Perspective*, Doubleday. [Hay trad. cast.: *La conexión cósmica. Una perspectiva extraterrestre*, Plaza y Janés, 1982.]

Sage, R. F. (1995), «Was low atmospheric CO_2 during the Pleistocene a limiting factor for the origin of agriculture?», *Global Change Biology*, vol. 1, n.º 2, pp. 93-106.

Sahrhage, D., y J. Lundbeck (2012), *A History of Fishing*, Springer.

Sakellariou, D., y N. Galanidou (2016), «Pleistocene submerged landscapes and Palaeolithic archaeology in the tectonically active Aegean region», en J. Harff, G. Bailey y F. Lüth, eds., *Geology and Archaeology. Submerged Landscapes of the Continental Shelf*, Geological Society Special Publication

n.º 411, Geological Society.

Sauberlich, H. E. (1997), «A history of scurvy and vitamin C», en L. Packer, ed., *Vitamin C in Health and Disease*, Taylor & Francis.

Schmidt, M. (2017), «Human geography of post-socialist mountain regions. An introduction», *Journal of Alpine Research*, vol. 105, n.º 1.

Schobert, H. H. (2014), *Energy and Society. An Introduction*, 2.ª ed., CRC Press.

Schrijver, K., e I. Schrijver (2015), *Living with the Stars. How the Human Body is Connected to the Life Cycles of the Earth, the Planets, and the Stars*, Oxford University Press.

Schuberth, C. J. (1968), *The Geology of New York City and Environs*, Natural History Press for the American Museum of Natural History.

Schwarz-Schampera, U. (2014), «Indium», en G. Gunn, ed., *Critical Metals Handbook*, AGU/Wiley, pp. 204-229.

Scott, A. C., e I. J. Glasspool (2006), «The diversification of Paleozoic fire systems and fluctuations in atmospheric oxygen concentration», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 103, n.º 29, pp. 10.861-10.865.

Shakun, J. D., P. U. Clark, F. He, S. A. Marcott, A. C. Mix, Z. Y. Liu, B. OttoBliesner, A. Schmittner y E. Bard (2012), «Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation», *Nature*, vol. 484, n.º 7.392, pp. 49-54.

Sheridan, A. (2002), «ANTIQUITY and the Old World», *Antiquity*, vol. 76, n.º 294, pp. 1.085-1.088.

Shubin, N. (2014), *The Universe Within*, Penguin.

Shuckburgh, E., y P. Austin (2008), *Survival. The Survival of the Human Race*, Cambridge University Press.

Siddall, R. (2015), «An urban geologist's guide to the fossils of the Portland stone», *Urban Geology in London n.º 30*, <www.ucl.ac.uk/~ucfbrxs/Homepage/walks/PortlandFossils.pdf>.

Sinha, U. K. (2010), «Tibet's watershed challenge», *The Washington Post*, 14 de junio de 2010, <www.washingtonpost.com/wp-

dyn/content/article/2010/06/13/AR2010061303331.html>.

Smith, A. H. V. (1997), «Provenance of coals from Roman sites in England and Wales», *Britannia*, vol. 28, pp. 297-324.

Smith, B. D., y R. A. Yarnell (2009), «Initial formation of an indigenous crop complex in eastern North America at 3800 B.P.», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, n.º 16, pp. 6.561-6.566.

Socratous, M. A., V. Kassianidou y G. D. Pasquale (2011), «Ancient slag heaps in Cyprus. The contribution of charcoal analysis to the study of the ancient copper industry», en A. Hauptmann y D. Modarressi-Tehrani, eds., *Archaeometallurgy in Europe III*, Deutsches Bergbau-Museum Bochum.

Sorkhabi, R. (2016), «Rich Petroleum Source Rocks», *GEO ExPro*, vol. 6, n.º 6.

Speight, J. G. (2015), *Asphalt Materials Science and Technology*, ButterworthHeinemann.

Stager, C. (2012), *Our Future Earth*, Gerald Duckworth & Co.

— (2014), *Your Atomic Self. The Invisible Elements That Connect You to Everything Else in the Universe*, Thomas Dunne.

Stahl, P. W. (2008), «Animal domestication in South America», en H. Silverman y W. H. Isbell, eds., *The Handbook of South American Archaeology*, Springer, pp. 121-130.

Stampfli, G. M., C. Hochard, C. Vérard, C. Wilhem y J. von Raumer (2013), «The formation of Pangea», *Tectonophysics*, vol. 593, pp. 1-19.

Stavridis, J. (2018), *Sea Power. The History and Geopolitics of the World's Oceans*, Penguin.

Sterelny, K. (2011), «From hominins to humans. How sapiens became behaviourally modern», *Philosophical Transactions of the Royal Society BBiological Sciences*, vol. 366, n.º 1.566, pp. 809-822.

Stern, R. J. (2010), «United States cost of military force projection in the Persian Gulf, 1976-2007», *Energy Policy*, vol. 38, n.º 6, pp. 2.816-2.825.

Stewart, K. M. (1994), «Early hominid utilisation of fish resources and implications for seasonality and behaviour», *Journal of Human Evolution*,

vol. 27, pp. 229-245.

Stewart, W. M., D. W. Dibb, A. E. Johnston y T. J. Smyth (2005), «The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production», *Agronomy Journal*, vol. 97, n.º 1, pp. 1-6.

Stoneley, R. (1990), «The Middle East Basin. A summary overview», en J. Brooks, ed., *Classic Petroleum Provinces, Geological Society Special Publication No. 50*, Sociedad Geológica de Londres, pp. 293-298.

Stow, D. (2010), *Vanished Ocean. How Tethys Reshaped the World*, Oxford University Press.

Summerhayes, C. P. (2015), *Earth's Climate Evolution*, Wiley Blackwell.

Sweeney, E. J. (2007), *The Pyramid Age*, Algora.

Tarasov, L., y W. R. Peltier (2005), «Arctic freshwater forcing of the Younger Dryas cold reversal», *Nature*, vol. 435, p. 662.

Teller, J. T., D. W. Leverington y J. D. Mann (2002), «Freshwater outbursts to the oceans from glacial Lake Agassiz and their role in climate change during the last deglaciation», *Quaternary Science Reviews*, vol. 21, n.º 8, pp. 879-887.

Terazono, E. (2016), «Russia set to be biggest wheat exporter for first time», *Financial Times*, <www.ft.com/content/af66f51e-6515-11e6-8310-ecf0bddad227>.

Thomas, L. (2013), *Coal Geology*, 2.ª ed., Wiley.

Thompson, P. (2010), *Seeds, Sex and Civilization. How the Hidden Life of Plants Has Shaped Our World*, Thames & Hudson.

Tomczak, M., y J. S. Godfrey (1994), *Regional Oceanography. An Introduction*, Pergamon.

Törnqvist, T. E., y M. P. Hijma (2012), «Links between early Holocene ice-sheet decay, sea-level rise and abrupt climate change», *Nature Geoscience*, vol. 5, pp. 601-606.

Trauth, M. H., M. A. Maslin, A. L. Deino, A. Junginger, M. Lesoloyia, E. O. Odada, D. O. Olago, L. A. Olaka, M. R. Strecker y R. Tiedemann (2010),

«Human evolution in a variable environment. The amplifier lakes of Eastern Africa», *Quaternary Science Reviews*, vol. 29, n.º 23-24, pp. 2.981-2.988.

Trauth, M. H., M. A. Maslin, A. L. Deino, M. R. Strecker, A. G. N. Bergner y M. Duhnforth (2007), «High- and low-latitude forcing of PlioPleistocene East African climate and human evolution», *Journal of Human Evolution*, vol. 53, n.º 5, pp. 475-486.

Tucci, S., y J. M. Akey (2016), «A map of human wanderlust», *Nature*, vol. 538, pp. 179-180.

Twining, D. (2009), «Could China and India go to war over Tibet?», *Foreign Policy*, <https://foreignpolicy.com/2009/03/10/could-china-and-in dia-go-to-war-over-tibet/>.

Ulmishek, G. F., y H. D. Klemme (1990), «Depositional controls, distribution, and effectiveness of world's petroleum source rocks», *US Geological Survey Bulletin*, n.º 1.931, US Geological Survey.

Van der Wel, S. (2014), «Religions explained», <www.thoughtmash.net/2014/09>.

Vasiljevic´, D. A., S. B. Markovic´, T. A. Hose, Z. L. Ding, Z. T. Guo, X. M. Liu, I. Smalley, T. Lukic´ y M. D. Vujicˇic´ (2014), «Loess-palaeosol sequences in China and Europe. Common values and geoconservation issues», *Catena*, vol. 117, pp. 108-118.

Veevers, J. J. (2004), «Gondwanaland from 650-500 Ma assembly through 320 Ma merger in Pangea to 185-100 Ma breakup. Supercontinental tectonics via stratigraphy and radiometric dating», *Earth-Science Reviews*, vol. 68, pp. 1-132.

Verner, M. (2001), *The Pyramids*, Atlantic.

Véron, A., J. P. Goiran, C. Morhange, N. Marriner y J. Y. Empereur (2006), «Pollutant lead reveals the pre-Hellenistic occupation and ancient growth of Alexandria, Egypt», *Geophysical Research Letters*, vol. 33, n.º 6, p. L06409.

Wagland, S., y D. M. Gomes. (2016), «It's time for businesses to get their hands dirty and embrace landfill mining», *Business Green*, <www.busi

nessgreen.com/bg/opinion/2454124/its-time-for-businesses-to-get-their-hands-dirty-and-embrace-landfill-mining>.

Wagner, M., y F.-W. Wellmer (2009), «A hierarchy of natural resources with respect to sustainable development. A basis for a natural resources efficiency indicator», en J. Richards, ed., *Mining, Society, and a Sustainable World*, Springer.

Walker, J. (2006), «What gives gold that mellow glow?», <www.fourmilab.ch/documents/golden_glow>.

Waltham, T. (2005), «The rich hill of Potosi», *Geology Today*, vol. 21, n.º 5, pp. 187-190.

Warren, K., y A. Read. (2014), «Landfill mining. Goldmine or minefield?», <https://waste-management-world.com/a/landfill-mining-goldmi ne-or-minefield>.

Watson, P. (2012), *The Great Divide. History and Human Nature in the Old World and the New*, Weidenfeld & Nicolson. [Hay trad. cast.: *La gran divergencia. Cómo y por qué llegaron a ser diferentes el Viejo Mundo y el Nuevo*, Crítica, 2012.]

Weijers, J. W. H., S. Schouten, A. Sluijs, H. Brinkhuis y J. S. Sinninghe Damsté (2007), «Warm arctic continents during the Palaeocene-Eocene thermal maximum», *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 261, n.º 1, pp. 230-238.

Wells, N. C. (2012), *The Atmosphere and Ocean. A Physical Introduction*, 3.ª ed., Wiley.

Weng, J. K., y C. Chapple (2010), «The origin and evolution of lignin biosynthesis», *New Phytologist*, vol. 187, n.º 2, pp. 273-285.

White, M., y N. Ashton (2003), «Lower Palaeolithic core technology and the origins of the Levallois method in North-Western Europe», *Current Anthropology*, vol. 44, n.º 4, pp. 598-609.

White, S. (2012), «Climate change in global environmental history», en J. R. McNeill y E. S. Mauldin, eds., *A Companion to Global Environmental*

History, Blackwell.

Wignall, P. B. (2017), *The Worst of Times. How Life on Earth Survived Eighty Million Years of Extinctions*, Princeton University Press.

Winchester, S. (2011), *Atlantic. A Vast Ocean of a Million Stories*, HarperPress.

Wing, S. L., G. J. Harrington, F. A. Smith, J. I. Bloch, D. M. Boyer y K. H. Freeman (2005), «Transient floral change and rapid global warming at the Paleocene-Eocene boundary», *Science*, vol. 310, n.º 5.750, pp. 993-996.

Winkless, L. (2017), «Sweating on the underground. Why are London's Tube tunnels so hot?», *Forbes*, <www.forbes.com/sites/lauriewinkless/2017/06/22/sweating-on-the-underground-why-are-tube-tunnels-so-hot/>.

Wong, E. (2010), «China's money and migrants pour into Tibet», *The New York Times*, <www.nytimes.com/2010/07/25/world/asia/25tibet.html>.

Woodburne, M. O., G. F. Gunnell y R. K. Stucky (2009), «Climate directly influences Eocene mammal faunal dynamics in North America», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 106, n.º 32, pp. 13.399-13.403.

Woodward, J. (2014), *The Ice Age. A Very Short Introduction*, Oxford University Press.

Wright, J. D., y M. F. Schaller (2013), «Evidence for a rapid release of carbon at the Paleocene-Eocene Thermal Maximum», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, n.º 40, pp. 15.908-15.913.

Wright, R. (2006), *A Short History of Progress*, Canongate.

Yong, E. (2015), «Why pumpkins and squashes aren't extinct», *National Geographic*, <www.nationalgeographic.com/science/phenomena/2015/11/16/why-pumpkins-and-squashes-arent-extinct/>.

Zalasiewicz, J. (2012), *The Planet in a Pebble. A Journey into Earth's Deep History*, Oxford University Press.

—, C. N. Waters y M. Williams (2014), «Human bio-turbation, and the subterranean landscape of the Anthropocene», *Anthropocene*, vol. 6, pp. 3-9.

—, M. Williams, R. Fortey, A. Smith, T. L. Barry, A. L. Coe, P. R. Bown, P. F. Rawson, A. Gale, P. Gibbard, F. J. Gregory, M. W. Hounslow, A. C. Kerr, P. Pearson, R. Knox, J. Powell, C. Waters, J. Marshall, M. Oates y P. Stone (2011), «Stratigraphy of the Anthropocene», *Philosophical Transactions of the Royal Society A—Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 369, n.º 1.938, pp. 1.036-1.055.

Zeebe, R. E., A. Ridgwell y J. C. Zachos (2016), «Anthropogenic carbon release rate unprecedented during the past 66 million years», *Nature Geoscience*, vol. 9, pp. 325-329.

Agradecimientos

El primer reconocimiento para cualquier proyecto editorial grande ha de ser para la persona que proporcionó apoyo y guía incondicionales ya desde sus inicios, de modo que muchísimas gracias a mi agente, Will Francis, maravillosamente alentador. Muchas gracias también a Rebecca Folland, Ellis Hazelgrove y Kirsty Gordon, así como a Janklow y Nesbit, de Londres, y a P. J. Mark, Michael Steger e Ian Bonaparte, de la oficina de Nueva York. Asimismo y desde luego, estoy profundamente agradecido a Stuart Williams, de The Bodley Head, por haber aceptado de manera entusiasta este libro para su publicación, y en especial a Jörg Hensgen, quien una vez más ha editado mis originales con una habilidad y solicitud increíbles. Eoin Dunne ayudó con las figuras, y el espléndido diseño de la cubierta es de Kris Potter. Gracias también a Alison Davies, Ceri Maxwell Hughes y Anna-Sophia Watts, de Penguin Random House.

Muchos científicos e historiadores han sido asimismo muy generosos con su tiempo durante la investigación y la redacción de este libro, por lo que doy también las gracias (en orden alfabético) a: Christopher Beard, Davina Bristow, Alastair Culham, Steve Dutch, Chris Elvidge, Ahmed Fasih, Mike Gill, Philip Gingerich, Richard Harding, Will Hawthorne, Nicholas Klingaman, Paul Lockard, Josephine Martin, Mark Maslin, Augasta McMahon, Ted Nield, Lincoln Paine, Nicholas Rodger, Dave Rothery, Mark Sephton, James Sherwin-Smith, Ruth Siddall, Grace Steed, Phil Stevenson, Dorrik Stow, Stuart Thompson, Christiaen van Lanschot, Christopher Ware, Shoshana Weider, Chuck Williams, Scott Wing y Jan Zalasiewicz.

Ha sido un gran placer y un absoluto privilegio trabajar con cada uno de vosotros.

Créditos de las figuras

Figura 1. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando información de Trauth *et al.* (2007) y Maslin *et al.* (2014).

Figura 2. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, basada en la figura 1 de Force (2010), y utilizando datos sobre los límites de placas de Peter Bird, Universidad de California, Los Ángeles (<http://peterbird.name/oldFTP/PB2002/>).

Figura 3. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando información de Woodward (2014) y Planetary Visions (<www.planetaryvisions.com/Project.php?pid=2226>).

Figura 4. Creada por el autor.

Figura 5. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, basada en información de la Carta Cronoestratigráfica Internacional elaborada por la Comisión Internacional de Estratigrafía (<www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>).

Figura 6. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando información de Metspalu *et al.* (2004), Krause *et al.* (2007), el mapa 24.1 de McNeill (2012b) y López *et al.* (2015).

Figura 7. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando información de Diamond (2003), Price (2009), Fuller *et al.* (2014) y Larson *et al.* (2014).

Figura 8. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando datos de los ríos de Natural Earth (<www.naturalearthdata.com>).

Figura 9. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando datos de los ríos de Natural Earth (<www.naturalearthdata.com>).

Figura 10. Secuencia temporal que muestra el cierre del Tetis, de Stow (2010),

reproducida con su amable permiso.

Figura 11. Situación actual del Mediterráneo con cordilleras, creada por el autor con *Mathematica* 11.0, basada en la figura 29 de Stow (2010).

Figura 12. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0.

Figura 13. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0.

Figura 14. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0. Distribución de las rocas expuestas del Cretácico proporcionada por el Servicio Geológico de Estados Unidos (<https://pubs.er.usgs.gov/publication/70136641>), y con la ayuda de reproyección cartográfica de Ahmed Fasih.

Figura 15. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, basada en el mapa geológico de Reino Unido (<www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/geologyOfBritain/makeamap/map.html>), con permiso del Servicio Geológico de Gran Bretaña.

Figura 16. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0 y datos de los ríos de Natural Earth (<www.naturalearthdata.com>).

Figura 17. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando información del mapa 1 de Bernstein (2009), de Frankopan (2016), de la *Enciclopedia de la Ruta de la Seda* (<www.silkroadencyclopedia.com/Images2/MapSilkRoadRoutesTurkeyChina.jpg> y de Travel China Guide (<www.travelchinaguide.com/images/map/silkroad/scenery.gif>).

Figura 18. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando la extensión de las estepas de Jiao *et al.* (2017) y las líneas de la Gran Muralla basadas en un mapa dibujado por Maximilian Dörrbecker (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Map_of_the_Great_Wall_of_China.j

Figura 19. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0.

Figura 20. Diseñada por el autor y dibujada por Matthew Broughton, basada en la figura 7.5 de Lutgens y Tarbuck (2000) y la figura 6.13 de Wells (2012).

Figura 21. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando información del Atlas of the World (2014).

Figura 22. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando información de la figura 3.1 de Jones *et al.* (2004), el mapa 14 de Bernstein (2009), la p. 319 de Winchester (2011) y la figura 6.14 de Wells (2012).

Figura 23. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando información de la lámina 3 de Ulmishek y Klemme (1990), de Veevers (2004), de la figura 3.2 de Thomas (2013) y de la Sociedad Geológica Británica (<http://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Regional_structure_of_the_Carboniferous

Figura 24. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando datos de las elecciones generales de 2017 del Parlamento británico (https://researchbriefings.parliament.uk/ResearchBriefing/Summary/CBP-7979) y de los yacimientos de carbón de la Sociedad de Investigación de las Minas del Norte (<www.nmrs.org.uk/mines-map/coal-mining-in-the-british-isles/>), y con la ayuda de reproyección cartográfica de Ahmed Fasih.

Figura 25. Creada por el autor con *Mathematica* 11.0, utilizando información de la lámina 5 de Ulmishek y Klemme (1990) y de Veevers (2004).

Figura 26. Creada por el autor mediante manipulación digital de una imagen global creada por el Grupo de Observación de la Tierra del Centro de Datos Geofísicos Nacionales de NOAA-NESDIS.

Índice alfabético

abasí, califato
Aberdeen, granito de
abetos
Abu Dabi, mezquita del jeque Zayed en
Abu Simbel, gran templo de Ramsés II en
acadios
aceite de oliva
acero
achelenses, herramientas
Acrotiri, en Tera
Adán del cromosoma Y
Adén y
Adén, golfo de
ADN de los homininos
adobe, ladrillos de
Afar, región de/triángulo de
Afganistán
África
  animales
  migración de los homininos desde
  plantas
África del Norte
  agricultura
  caravanas de camellos

clima
litoral
África occidental
costa de
África oriental
clima
procesos tectónicos
afroamericanos
Agassiz, lago
agricultura
utensilios y arados
y cambio climático
y crecimiento demográfico
y petróleo
véase también cereales; fruta; legumbres
aguacates
«agujas de Cleopatra»
Akshardham, en Nueva Delhi
Alabama
plantaciones de algodón
alanos
Alaska
Alborán, microcontinente de
Alcáçovas, Tratado de (1479)
Alejandría
Biblioteca de
Alejandro Magno
Alemania
alerces
alfarería *véase* cerámica

algas
algas marinas
algodón
alpacas
Alpes
Altái, montañas
«altas subtropicales»
altos hornos
aluminio
  hidrosilicatos de aluminio
  Amarillo, río y valle del
Amazonas
  pluviselva
  América
  animales
  descubrimiento de
  migración humana a
  véase también América del Norte; Estados Unidos
América del Norte
  animales
  hierbas
  praderas
  véase también Canadá; Estados Unidos
Amniso, en Creta
amonites
Amsterdam, banco central de
Anatolia
Andes, cordillera
anfibios
angiospermas

Angkor Wat, en Camboya
animales salvajes
  domesticación de
  megafauna
  véase también mamíferos
Antártida
Antillas Menores
antílopes
antimonio
Antropoceno, era
Apalaches, cordillera
APP, mamíferos
Aqaba, golfo de
aqueménida, Imperio
Arabia/ península Arábiga
  camellos
  desiertos
  utensilios líticos
Arabia Saudí
arados
Aragón, reino de
Aral, mar de
arañas
árboles/bosques
  de pantano
  formación de carbón y
  rebrote
  véase también madera; pluviselvas
  arcilla
  suelos de

Ardipithecus ramidus
arena
arenisca
  nubia
Argelia
Argentina, pampas en
armas
  acero
  bronce
  hierro
arquitectura
  británica173
  egipcia antigua
  estadounidense
  minoica
  romana
arrabio
arroz
Ártico
Ártico, océano
artiodáctilos
aseos minoicos
asfalto (bitumen)
Asia, Sudeste de
  islas
asirio, Imperio
asnos
asteroides
astronomía
Atenas

Atila el Huno
Atlántico, océano
  y Mediterráneo
Atlas, cordillera
Australia
  animales domesticables
  hierbas
  metales de tierras raras
Australopithecus
  A. afarensis y
ávaros
avena
aves
avestruces
Awash, valle del río
azafrán
Azores, islas
azteca, cultura
azúcar, plantaciones de
azufre

Bab-el-Mandeb, estrecho de
Babilonia
babilonios
bacalao
Bacan, islas
Bagdad
Bahamas, islas
Baikonur, cosmódromo, en Kazajistán
bajareque

Balaclava, batalla de (1854)
ballenas
Banco de Inglaterra
Bancos y banca
Banda, islas y
Barbarroja, Operación
Barbegal, en Francia, molinos hidráulicos de
barcos/embarcaciones
  barcos esclavistas
  buques de guerra
  buques de vapor
  escorbuto
  galeones
  galeras
  hamacas
  mástiles
  véase también navegación y navegación a vela
Baréin
basálticas, rocas
basalto, erupciones/inundación de basalto
Basura del Atlántico Norte, área del
Batavia (Yakarta), en Indonesia
baterías recargables
Beatles: «Lucy in the Sky with Diamonds»
beduinos
belemnites
Bélgica
Belice
Bering, puente continental/estrecho de
Bessemer, proceso

Biblos
BIF *véase* Formaciones de Hierro Bandeado
Big Bang
bipedismo
Birmania
bisontes
bitumen
Bizantino, Imperio
Bojador, cabo
Bombay
Borneo
Bósforo
bosques de pantano
Boston, en Massachusetts
Brahmaputra, río
brasicáceas
Brasil
  plantaciones de café
Brasil, corriente del
bromo
Bronce, Edad del
bronce/artefactos de bronce
Brouwer, capitán Henrik
Brouwer, ruta de
brújulas, navegación mediante
bubónica, peste
Buckingham, palacio de
Buena Esperanza, cabo de
bueyes
búfalo de agua

Buffalo, Nueva York
Bujara, en Uzbekistán
búlgaros
buques de vapor
burgundios
Bush, George W., presidente
Bushveld, complejo, en Sudáfrica
butano

Caballo Blanco de Uffington, Oxfordshire
caballos
Cabo, Ciudad del
Cabo Verde, islas
Caboto, Giovanni
cabras
cacao
cacerolas de loza
café, plantaciones en Brasil
cal viva
calabaceras
calabacines
calabazas
calentamiento/caldeamiento global
  véase también cambio climático; gases de efecto invernadero
Calicut, en India
California
caliza
  de Indiana
  de manantiales termales
  de travertino

del Tetis
nummulítica
oolítica
calmas ecuatoriales, zona de
calmas subtropicales, zonas de
calmucos
Calzada de los Gigantes, en Irlanda del Norte
cambio climático
véase también edades del hielo
Camboya
Cámbrico, período
camellos
bactrianos
dromedarios
campo magnético de la Tierra
Canadá
comercio de pieles
canal marítimo Indonesio
canales
Canarias, corriente de
Canarias, islas
canela
cáñamo
caolín y
capitalismo
carabelas
caravanas comerciales
carbón
formación de
política del

carbón vegetal/carbón de leña
carbonato cálcico
Carbonífero, período
carbono
Caribe, mar/región caribeña
  carne
  plantaciones de azúcar
Carnegie, Andrew
Carolina del Norte y del Sur
  plantaciones de algodón
Cárpatos, cordillera
Carrara, mármol de
carreteras
carros
carros de guerra
Carta Magna
Cartago
cartografía
Casa Blanca
casas enmarcadas con madera
Caspio, mar
Castilla
catalizadores
catedrales
catolicismo
Cáucaso
caucho sintético
cazadores-recolectores
cebada
cebras

cedros/madera de cedro
Ceilán *véase* Sri Lanka
células polares
celulosa
cemento
  puzolánico
Cenozoico, enfriamiento del
Cenozoico, período del,
centeno
cerámica/alfarería
  porcelana
Cerdeña
cerdos
cereales
  véase también grano
Cerne Abbas, Gigante de, Dorset
Cerro Rico *véase* Potosí
Ceuta
Chicago
Chile
chimpancés
China
  agricultura
  altos hornos
  arnés collar
  bronce
  brújulas
  canales
  carbón
  exportaciones

ginkgo
Gran Muralla
Homo erectus
metales de tierras raras
mongoles (dinastía Yuan)
nómadas de las estepas y,
peste bubónica
petróleo y
plata sudamericana y
población
porcelana
primeros humanos
ruedas hidráulicas
sal, producción de
seda
té
Tíbet y
xiongnu y
China, mar del Sur de la
Chipre
minería del cobre
Troodos, montañas
cianobacterias
Cícladas, islas
ciervos
cilantro
cinc
civilizaciones antiguas
Clark, William
Clarke, Arthur C.

clatrato, hielo de
clavos de olor
Cleopatra VII, reina de Egipto
Cleveland, en Ohio
Clinton, Hillary
clunch
Cnosos, palacio de, Creta
cobalto
cobayos, y escorbuto
cobre/mineral de cobre
  fundición
coches/automóviles
cocinar los alimentos
cocodrilos
cocolitoforales
cocolitos
cocos
Cocos, placa tectónica
Cod, cabo, en Massachusetts
Coleridge, Samuel Taylor
  «Balada del viejo marinero»
  Kubla Khan
Coliseo, en Roma
Colombia, platino en
Colón, Cristóbal
Colonia, catedral de
cometas
comino
Compañía de las Indias Orientales
Compañía Holandesa de las Indias Orientales

condimentos
Congo
coníferas
Constantinopla (Estambul)
convergencia intertropical, zona de (ZCIT)
convertidores catalíticos
coral/arrecifes de coral
Córcega
Cordillera, casquete de hielo de la
cordilleras/montañas
  véase también volcanes y cordilleras/montañas concretas
Corea, península de
Corea del Sur
Corinto
Coriolis, efecto de
Cornualles
  caolín y
  granito de
  minas de estaño
  Proyecto Edén
Cotswolds, los
Creciente Fértil
crecimiento demográfico
Creta
creta
Cretácico, período
Crimea, península de
cristianismo
Cruz del Sur
cuarcita

cuarzo
Cuaternario, período
Cuba
cubos de ruedas de carros
cucarachas
cuellos de botella marítimos
cuero
  estructuras
cultivos
  domesticación de
  rotación de
  véase también cereales (grano)
  cumanos
Cumberland, yacimientos de carbón de

Da Gama, Vasco y
Danubio, río/valle
Dardanelos
Dartmoor
dátiles
denisovanos, homininos
Desierto Arenoso de Australia, Gran
desierto Oriental
desiertos
  véase también desiertos concretos
Detroit
Dias, Bartolomeu
diatomeas
dinoflagelados
dinosaurios y

Diómedes, islas y
dióxido de azufre
dióxido de carbono
dispositivos electrónicos
disprosio
diversidad genética
Dogger/Doggerlandia, banco de arena
dorsal mesoatlántica y
Dover, acantilados blancos de
Dover, estrecho de
Downs del Norte
Downs del Sur
Drake, sir Francis
Dryas Reciente, evento del
Dublín, Leinster House en
Durham, yacimientos de carbón

Eanes, Gil
Economía de Energía Orgánica
ecuador
Ecuador, platino en
Edad Media, Alta
edades de hielo
  Pequeña Edad de Hielo
Edimburgo
Egeo, mar
Egipto/antiguo Egipto
  edificios
  escultura
  faraones

pirámides
Egospótamos, batalla de (405 a. de C.)
Elburz, montañas
electricidad
elefantes
Elgon, monte
Emiratos Árabes Unidos
Empire State Building, en Nueva York
energía solar
Energía Somática, Régimen de
enfriamiento global *véase* edades del hielo; enfriamiento del Cenozoico
Enrique VII, rey de Inglaterra
Eoceno, época
équidos
Eratóstenes
Eridu
Eritrea
EROI, índice *véase* Retorno Energético por Inversión
Escandinavia
escandinavos, pescadores y navegantes
escandio
escitas
esclavitud/trata de esclavos
Escocia
escorbuto y y
escritura
fenicia
minoica
sumeria
España/españoles

azafrán
exploradores y navegantes
galeones
minas
Reconquista
visigodos
Española, isla de La
Esparta
especias, comercio de
Especias, islas de las
esporas, plantas formadoras de
esquistos
Estados Unidos
arquitectura
bosques
caliza de Indiana
«Cinturón negro»
elecciones (2008, 2012, 2016)
esclavitud
Hawái y
industria del carbón
Japón y
metales de tierras raras
plantaciones de algodón
población
véase también Alaska; América del Norte
Estambul *véase* Constantinopla
estaño
Estepa Central *véase* estepa Kazaka
estepa Occidental

estepa Oriental
estepas
  nómadas
Estrabón
Estrella Polar
estrellas
estrellas de mar fósiles
estribos
etano
Etiopía
Etna, monte y
etruscos
Éufrates, río,
Eurasia
  clima
  fauna y flora
  guerra
Eva mitocondrial
excentricidad, ciclo de
Exeter, catedral de
exploración, era de la
extinciones en masa

factorías (fuertes costeros)
fallas cabalgantes
faraones
farmacéuticos, productos
Faros, isla de
feldespato
Fenicia/fenicios

Fernando II el Católico, rey de Aragón
Ferrel, célula
ferrocarriles
fertilizantes artificiales
feudalismo
Filipinas, islas
filosofías, difusión de
Finlandia
fisión/fusión nuclear
fitoplancton
flores *véase* plantas y flores
Florida
foraminíferos
Formaciones de Hierro Bandeado (BIF)
fósiles
fotosíntesis
Francia
  comercio marítimo
  corsarios
  regiones vinícolas
  ruedas hidráulicas
  tramperos
francos
fruta/árboles frutales
fuego

gacelas
Galeón de Manila, ruta del
Gales
  carbón de

pizarra de
Galia romana
Galilea, mar de
galio
gallinas
ganado/vacas y
Ganges, río
Gansu, corredor de
gas natural
gases de efecto invernadero
véase también dióxido de carbono; metano
Gengis Khan
Génova/genoveses
germánicas, tribus
Ghats Occidentales, India
Gibraltar
estrecho de y
gimnospermas
ginkgo
girasoles
giro del Atlántico Norte
giros oceánicos
glaciación/glaciares
globalización
gneis
Goa, en India
Gobi, desierto de
GOE *véase* Gran Evento de Oxidación
Golfo, corriente del
Gona, en Etiopía

Gondwana
Grampianos, montes
Gran Bretaña/Inglaterra
  arquitectura
  cerámica
  comercio marítimo
  corsarios
  electricidad
  exploración
  ferrocarriles
  geología
  minas de carbón romanas
  motores de vapor
  Partido Laborista y
  Royal Navy
  yacimientos de carbón/minas
  véase también Londres; Revolución Industrial
Gran Evento de Oxidación (GOE)
Granada y
granito y
grano
  véase también cereales
Grecia/griegos antiguos
  ciudades-estado
  ejércitos
gremios medievales
Grenville, cordillera de
Groenlandia
Guatemala
guerra y

tribus nómadas
véase también armas; pólvora
Guerra Americana de Independencia, Guerra Revolucionaria (1775-1783)
Guerra Civil estadounidense
Guerra Mexicana de la Independencia (1810-1821)
Guinea, golfo de
Guiza, pirámides de
Gunflint, formación de hierro de

habichuelas
Hadley, células de
Haifa, en Israel
Han, dinastía china
Harappa, civilización de
harina
Hawái
helechos
Helesponto
helio
hematita
Hera¯t, en Afganistán
herbicidas
Herculano
Heródoto
hidrógeno
cloruro de hidrógeno
sulfuro de hidrógeno
hierbas
hierro
forjado

fundido
herramientas y armas
producción
y formaciones de hierro bandeado
véase también acero
Hierro, Edad del
Himalaya
Hindú Kush
hipopótamos
Hitler, Adolf
Holanda *véase* Países Bajos
Holoceno, época
Homero: *Ilíada*
homininos
ADN
bipedismo
cerebro e inteligencia
como cazadores
migración desde África
Homo erectus
Homo habilis
Homo heidelbergensis
Homo neanderthalensis véase neandertales
Homo sapiens/humanos
hongos
hormigón
reforzado
Hudson, bahía de, Canadá
Humboldt, corriente de
humeros negros

Hungría
hunos

Ibérica, península
ictiosauros
Iglesia ortodoxa oriental
ígnea del Atlántico Norte, provincia
ígneas, rocas
imanes
imprenta
incienso
India
  algodón
  erupción de los Traps del Decán
  especias
  exportaciones
  Imperio mogol
  metales de tierras raras
  monzones/vientos monzónicos
  población
Indias Orientales, islas de las
Índico, océano
índigo
indio
Indo, río/valle
  civilizaciones
Indonesia
  actividad volcánica
insectos
intercambio colombino

invernadero, efecto
Irak
Irán
  véase también Persia
iridio y
irrigación
Isabel la Católica, reina de Castilla
Isfahán, en Irán
Islam/cultura islámica /musulmanes
  y dieta
Israel
Italia
  véase también Roma
ITCZ *véase* Zona de Convergencia Intertropical
itrio

jade
Jáiber, paso
Japón/japoneses
  exportaciones
  minería de vertederos
Java
Jefferson, Thomas, presidente
jengibre
jenízaros
jirafas
jorásmidos
Jordán, valle del
Juan II, rey de Portugal
judaísmo, dieta y

Jufu, faraón
Júpiter
Jurásica, costa, en Inglaterra
Jurásico, período

Kalahari, desierto de
Karakórum, en Mongolia
kazaja, estepa
Kellingley, en Yorkshire, mina de carbón de
Kenia
Kenya, monte
Kilimanjaro, monte
kirguises
Kish
kitán
Krakatoa, erupción del (1883)
Kublai Kan, emperador
Kunlun, montañas, en China
Kuwait

ladrillos
  de adobe
  refractarios
Laetoli, en Tanzania
lagos
  agua de fusión
  amplificadores
lana
Lancashire, yacimientos de carbón en
lantánidos, elementos

lantano
lapislázuli
Laurasia
  laurel (condimento)
  Laurentia
  casquete de hielo de
lava volcánica
Le Clerc, «Pata de Palo»
leche
leguminosas
leones
Levante
Lewis, Meriwether
Líbano
libélulas gigantes
Libia
licopodios
licópsidos
lignina
lino
litio
llamas
Llanura Húngara, Gran
lluvia
lluvia ácida
loess, suelos de y
lombardos
Londres
  «agujas de Cleopatra»
  Banco de Inglaterra

catedral de San Pablo
Gran Incendio de 1666
Marble Arch
metro/*Tube*
Museo Británico
One Canada Square
Palacio de Buckingham
The Shard
Torre de Londres
Los Ángeles
Getty Center
loza vidriada
Lucy, hominino

Macao
macis
Mackenzie, río
Madeira
madera
Magallanes, estrecho de
Magallanes, Fernando de
magiares
magma
magnetita
Maison Carrée, en Nîmes
maíz
Makian, isla de
Malabar, costa de, en India
Malaca, Malaysia
estrecho de

Malaya, península
Mali
Malindi, en Kenia
Mallorca
mamíferos
  APP y y
  mamuts
Mancha, canal de la
Manchuria
mandioca
Mani, península de, Grecia
Manila, catedral de
Mao Zedong
mapa geológico, primer y
maquinaria accionada por vapor
máquinas de vapor *véase* motores de vapor
Marble Arch, Londres
mares *véase* océanos
Mármara, mar de
mármol
Marruecos
mastodontes
matemáticas
Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno (MTPE)
maya, civilización
medicinas
Mediterráneo, mar
Megara, en Grecia
mejorana
Mekong, río

Melanesia
mercado de valores, primer
Merv, en Turkmenistán
Mesoamérica
Mesopotamia
  bronce de
  civilizaciones
Mesozoico, era y
metales/trabajo de metales
  fundición
  véase también metales concretos
metales de tierras raras (MTR)
metales del grupo del platino (MGP)
metales nobles *véase* metales del grupo del platino
Metálicos, montes, minas de estaño
metamórficas, rocas
metano
  clatrato de metano
México
  golfo de
  MGP *véase* metales del grupo del platino
micénicos
microchips
Miguel Ángel Buonnaroti
  David
  mijo
mil y una noches, *Las*
Milankovitch, ciclos de
minería de vertederos
Ming, dinastía china

minoica, civilización y
  escritura lineal A
mirra
Mississippi, río
Missouri, río
mitocondrias
Mogadiscio, en Somalia
mogol, Imperio
Mojave, desierto de
molinos de viento
Molucas, islas
monedas
Mongol, Imperio
Mongolia
monzones
  vientos monzónicos
morrenas
Moscú
Moti, isla de
motor de combustión interna
motores de aviación
motores de vapor
Mozambique
MTPE *véase* Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno
MTR *véase* metales de tierras raras
Muerte Negra (acumulación de esquistos)
«muerte negra» (peste)
Muerto, mar
mulas, mulos
Museo Británico

musterienses, utensilios
musulmanes, véase islam

Naciones Unidas, edificio de, en Nueva York
Nagasaki
Napoleón Bonaparte
nativos sudamericanos
natufios
navegación por corriente *véase* navegación y navegación a vela
navegación y navegación a vela
  en la zona de calmas ecuatoriales
  navegación con la corriente (*volta do mar*)
  véase también barcos; océanos; rutas comerciales marítimas
neandertales
Negro, mar
neoclasicismo, en la arquitectura
Neolítico, era
Nepal
nieve marina
Nilo, río/Nilo, valle
  delta del
Nínive
Nippur
níquel
nitrógeno
nogal americano, pacana
nómadas, tribus
  véase también nómadas pastoralistas
nómadas pastoralistas
  jinetes a caballo

Noranda, mina de, en Canadá
Norfolk, casitas de campo
norias *véase* ruedas hidráulicas
Norilsk, minas de, en Rusia
Norte, mar del
Northumberland, yacimientos de carbón en
Noruega
Nueva Delhi, templo de Akshardham en
Nueva Guinea
  agricultura
Nueva York
  aguja de Cleopatra
  Chrysler, edificio
  Empire State, edificio
  Naciones Unidas, edificio
  rascacielos
  Rockefeller Center
  Yankee Stadium
Nueva Zelanda
nuez moscada
Nummulites/caliza nummulítica

ñames
ñus

Obama, Barack, presidente
obsidiana
Oceanía
océanos
  ácidos

anóxicos
ascenso/niveles altos
circulación termohalina
contenido en sal
corrientes y navegación con las corrientes
corteza
cuellos de botella
descenso/niveles bajos giros
formaciones de hierro bandeado
hierro y
humeros negros (surgencias hidrotermales)
plancton y
zona de calmas ecuatoriales
véase también océanos y mares concretos
ocre
ofiolitos
Ogodei Kan
Ohio, río
olduvayenses, utensilios
olmo
Omán
omeya, califato
onagros
oolitos
opio
orégano
Orfeo y Eurídice
Oriental de China, mar
Oriente Próximo
Ormuz, estrecho de

oro
orogenia y
ortigas
osmio
ostrogodos
ovejas
Oxford, Universidad de
oxígeno
ozono, capa de

Pacífico, océano
Paine, Torres del, en Chile
Países Bajos/Holanda y
  comercio marítimo
  corsarios
  Japón y
  molinos de viento
Pakistán
paladio
Paleógeno, período
Paleozoico, era
Palestina
Palin, Sarah
Pamir, cordillera
pampas argentinas
Pan de Azúcar, montaña, en Rio de Janeiro
Panamá, canal de
Panamá, istmo de
Pangea
Pantalasa

pantallas de televisores y teléfonos inteligentes
Panteón, en Roma
papel/confección de papel
París
  agujas de Cleopatra
  Arco del Triunfo del Carrusel
Parks, Rosa
Pasaje del Atlántico Central
Patagonia, casquete de hielo de
Patagonia, desierto de
patatas
pavos
Pax Mongolica
Pearl Harbor
pechenegos
pedernal
Peloponeso, guerra del (431-405 a. de C.)
Pentágono, en Virginia
perezosos terrestres
perisodáctilos
permafrost
Pérmico, período
perros
Persia
  exportaciones
  mitología
  molinos de viento
  Muralla Persa
  queroseno
Pérsico, golfo

petróleo del
Perú
pesca
petróleo
ventana de petróleo
píceas
piedras de molino
pieles, comercio de y
pimienta
pimientos
pinos
pintadas
Pirámide de Guiza, Gran
pirámides
pirámides escalonadas, mesoamericanas
Pirineos, cordillera
Pittsburgh, en Pensilvania
pizarra, rocas de
placas tectónicas
civilizaciones antiguas y
límite de placas convergente y
plaguicidas
plancton
plantas con raíces
plantas y flores
angiospermas, domesticación de
gimnospermas
véase también cereales; fotosíntesis; plantas cultivadas
plásticos
plata y

platino y
pliosauros
plomo
pluviselvas
Polo, Marco
Polo Norte
Polo Sur
pólvora
Pompeya
pontocáspica, estepa
porcelana
porcelana de hueso
  véase también porcelana
Portland, piedra de
Portugal/portugueses
  esclavitud/comercio de esclavos
  marinos
Portuguesa, Ruta
Potosí, minas de plata, Bolivia y
praderas y
  véase también estepas; sabana
precesión
primates
Prípiat, marismas del río
promecio
propano
protestantismo
Ptolomeo, geógrafo
puertos

Qatar
Qin, dinastía china
Qing, dinastía china
queroseno

radiolarios
ranas
rascacielos
Ravenscroft, George
rebrote, en selvicultura
Reconquista y
Reforma protestante
Régimen Biológico, Antiguo
religiones
  véase también cristianismo; islam; judaísmo
reptiles
Retorno Energético (TRE o EROI), índice de la Tasa de
Revolución Industrial
revolución militar
Rift de África oriental
Rin, río
rinocerontes y
Río Tinto, mina de
ríos
  véase también ríos concretos
rocas, tipos de
  véase también basálticas, rocas; esquistos, rocas de
Rocosas, montañas
Rodinia, supercontinente
rodio

Rojo, mar
Roma
  Coliseo
  Columna de Trajano
  Panteón
romano, Imperio/romanos
  arquitectura
  minas de carbón
  población
  rueda hidráulica
  trabajo de metales
romero
Rove, formación
Ruanda
Rub al-Jali, desierto de
rubíes
ruedas hidráulicas
Rugientes Cuarenta
rumiantes
  véase también ganado/vacas
Run, isla de
Rushmore, monte
Rusia/Unión Soviética
  comercio
  invasión de Hitler
  trigales
  véase también Siberia
rutas comerciales
  marítimas254
  véase también Seda, Ruta de la

rutenio

sabana
Sahara, desierto del
Sahel
Sahul
sal
Salisbury, llanura de
Salween, río
Samarcanda, en Uzbekistán
San Cristóbal, golfo de
San Lorenzo, río
San Pablo, catedral, Londres
Sanchi Stupa, en India
Santa Elena, isla de
Santa Marta, golfo de
Santa Vitória, en Brasil
Santo Tomé
Santorini (Tera)
Sargazos, mar de los
Saturno
secuoyas
seda y
Seda, Ruta de la
sedimentarias, rocas
Sefidabeh, en Irán
selvas *véase* árboles/bosques; pluviselvas
Serengueti
Shah Jahan
Siberia

Sicilia
siderófilos, metales
Sierra Nevada, cordillera
sílex
silicio/sílice/ dióxido de silicio
Sinaí, desierto de
Sinaí, península del
Siria
sisal
Smith, William
soja
Sol/luz solar
  órbita de la Tierra alrededor del
  protosol
  radiación ultravioleta y
  viento solar
  véase también energía solar
sombra de la lluvia, efecto
Sonda, estrecho
Sondalandia
Sonora, desierto de
sorgo
Sri Lanka (Ceilán)
Staffordshire, yacimientos de carbón
Stoke-on-Trent, alfarerías de
Stonehenge, yacimiento de
Sudáfrica
  cabo de Buena Esperanza
  metales de tierras raras
  metales del grupo del platino

veld
Sudamérica
trata de esclavos
Sudbury, cuenca de, Canadá
Suecia
Suez, canal de
Suez, golfo de
Suffolk, casitas de campo
sulfuros
Sumatra
sumerios
supernovas

tabaco
Tabriz, en Irán
taiga
Taj Mahal, en Agra
Taklamakán, desierto de
Tambora, erupción del (1815)
Támesis, río y valle
tántalo
Tanzania
tapires
Tarim, cuenca del río, en China
taro
Tasmania
Tauro, montes
Teays, río
Tebas, templo de Luxor en
techos de paja, edificios con

Teherán, Irán
tejidos
  véase también algodón; lana
tejos
teléfonos inteligentes
teléfonos móviles *véase* teléfonos inteligentes
Tera (Santorini)
termohalina, circulación
Ternate, isla de
Terranova
terremotos
Tetis, caliza del
Tetis, océano/mar
Thar, desierto de
Tian Shan, cordillera de
Tíbet/meseta tibetana
Ticino, río
Tidore, isla de
Tierra
  campo magnético
  circunferencia
  creación
  inclinación
  órbita alrededor del Sol
  primera circunnavegación
  véase también cambios climáticos; ciclos de Milankovitch
Tierra Bola de nieve
tigres de dientes de sable
Tigris, río
tipis

Tívoli, fuentes minerales del
Toba, erupción del
tomates
Tombuctú, en Mali
tomillo
Tordesillas, línea de
Toscanelli, Paolo dal Pozzo
Trafalgar, batalla de (1805)
Traps de Siberia
Traps del Decán
travertino
Treinta Años, Guerra de (1618-1648)
Triángulo Comercial del Atlántico
Triásico, período
trigo
Troodos, montes, en Chipre
Trump, Donald, presidente
tsunamis
tundra
túnel del Canal
Túnez
tungsteno
turba
turcos otomanos
Turkmenistán
Turquía
  véase también turcos otomanos

Ucrania
uigures

ungulados
véase también caballos; camellos; cebras; cerdos; ganado; hipopótamos; rinocerontes
Unión Soviética *véase* Rusia
Ur
Urales, montes y
uranio
uro salvaje
Uruk
utensilios
acero
achelenses
agrícolas
bronce
hierro
olduvayense
véase también arados
Uzbekistán

vacas *véase* ganado
vándalos
Varisca, Orogenia
Vega
Venecia
Venezuela
verduras
vidrio/fabricación de vidrio/objetos de cristal
Viena
viento solar
vientos

alisios del este
del sudoeste/del oeste
efecto de Coriolis y
monzones
polares del este
solar
Vietnam
Virginia
biblioteca de la Universidad
Capitolio del estado
Pentágono
plantaciones de tabaco
visigodos
volcanes/actividad volcánica
Krakatoa
monte Elgon
monte Etna y
monte Kenya
monte Kilimanjaro
Popocatépetl
Potosí (Cerro Rico)
Tambora
Tera
Vesubio
Vórtice de Basura del Pacífico
Washington, DC
Casa Blanca
catedral Nacional
edificio del Capitolio
edificio del Tesoro

  edificio Hoover
  monumento a la Paz
Waterloo, batalla de (1815)
Weald-Artois, anticlinal de
Wight, isla de
wigwams
Wren, sir Christopher, catedral de San Pablo y

xiongnu
  véase también hunos
Yakarta, en Indonesia
Yangtsé, río
Yankee Stadium, Nueva York
Yibuti
Yorkshire
Yosemite, Parque Nacional
Yuan, dinastía china
yurtas

Zagros, montes
zigurats
zooplancton
Zungaria, en China
  Puerta de, en la frontera China-Kazajistán

Notas

Introducción

[1] Para una descripción mucho más completa de cómo los elementos del cuerpo humano proceden de la Tierra, véanse Stager (2014) y Schrijver (2015).

[2] Crutzen y Stoermer (2000); Ruddiman *et al.* (2015); Lewis y Maslin (2015).

[3] Dartnell (2015).

1. La creación de nosotros

[1] Arnason *et al.* (1998); Patterson *et al.* (2006); Moorjani *et al.* (2016).

[2] Rothery (2010), p. 53.

[3] Cane y Molnar (2001).

[4] King y Bailey (2006).

[5] Stow (2010), loc. Kindle 740.

[6] Maslin *et al.* (2014).

[7] *Ibid.*

[8] Jung *et al.* (2016).

[9] Maslin (2013); Shubin (2014), p. 179; Fer *et al.* (2017).

[10] Cane y Molnar (2001).

[11] Lieberman (2014), p. 68.

[12] Chorowicz (2005).

[13] King *et al.* (1994).

[14] King y Bailey (2006); Bailey *et al.* (2011).

[15] Maslin *et al.* (2014).

[16] *Ibid*.

[17] Berna *et al.* (2012).

[18] Gibbons (1998).

[19] Ermini *et al.* (2015).

[20] Bramble y Lieberman (2004).

[21] Bradley (2008).

[22] Maslin *et al.* (2014).

[23] White y Ashton (2003).

[24] Potts (2013).

[25] Maslin y Christensen (2007).

[26] *Ibid*.; Trauth *et al.* (2010).

[27] Maslin y Christensen (2007).

[28] *Ibid*.; Trauth *et al.* (2010).

[29] Trauth *et al.* (2010).

[30] Maslin *et al.* (2014); Potts y Faith (2015).

[31] Trauth *et al.* (2007); Maslin y Christensen (2007).

[32] Maslin y Christensen (2007).

[33] Potts y Faith (2015).

[34] Maslin *et al.* (2014).

[35] *Ibid*.

[36] Neimark (2012).

[37] *Ibid*.; McKie (2013).

[38] Jung *et al.* (2016).

[39] Giosan *et al.* (2012).

[40] Reilinger y McClusky (2011).

[41] Garzanti *et al.* (2016).

[42] Publicaciones del Servicio Geológico de Estados Unidos, «Plate tectonics and people», <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/tectonics.html>.

[43] Shuckburgh y Austin (2008), p. 133.

[44] Sobre este apartado en torno a la relación entre las civilizaciones antiguas y los límites de las placas, véanse Force (2008); Force y McFadgen (2010); Force y McFadgen (2012); Force (2015), cap. 15.

[45] Jackson (2006).

[46] <http://worldpopulationreview.com/world-cities/tehran-population>.

[47] Jackson (2006); Shuckburgh y Austin (2008), p. 133.

2. Derivadores continentales

[1] Kukula (2016), loc. Kindle 4136; Ruddiman (2016), cap. 4.

[2] Woodward (2014), p. 28.

[3] *Ibid*., p. 111.

[4] Stager (2012), loc. Kindle 305.

[5] *Ibid*.

[6] Summerhayes (2015), p. 264.

[7] *Ibid*.

[8] Ruddiman (2016), p. 45.

[9] Feurdean *et al.* (2013); Liddy *et al.* (2016).

[10] Summerhayes (2015), p. 255.

[11] Franks (1960).

[12] Woodward (2014), p. 102.

[13] *Ibid*., p. 112.

[14] *Ibid*.

[15] *Ibid*., p. 116.

[16] Maslin *et al.* (2014).

[17] Ruddiman (2016), p. 42.

[18] Lenton y Watson (2013), p. 353; Woodward (2014), p. 111.

[19] Nield (2014), p. 213; Woodward (2014), p. 35.

[20] *Ibid*.

[21] Stow (2010), p. 131.

[22] Summerhayes (2015), p. 368; Stager (2012), loc. Kindle 1178.

[23] Woodward (2014), p. 121; Lieberman (2014), p. 68; Ruddiman (2016), p. 42.

[24] Woodward (2014), p. 121.

[25] *Ibid*.; Maslin y Christensen (2007).

[26] Mendez (2011).

[27] Woodward (2014), p. 121; O'Dea *et al.* (2016).

[28] Maslin y Christensen (2007); Woodward (2014), p. 121; Ruddiman (2016), p. 19.

[29] Summerhayes (2015), p. 369.

[30] Oppenheimer (2011), p. 176.

[31] Bowden *et al.* (2012).

[32] Ermini *et al.* (2015); López *et al.* (2015); Tucci y Akey (2016).

[33] Eriksson *et al.* (2012); Lenton y Watson (2013), p. 367.

[34] Oppenheimer (2011), p. 178; King y Bailey (2006).

[35] Morris (2011), loc. Kindle 1274; Lieberman (2014), p. 130.

[36] Ermini *et al.* (2015).

[37] Abi-Rached *et al.* (2011).

[38] Ermini *et al.* (2015).

[39] Carotenuto *et al.* (2016).

[40] Eriksson *et al.* (2012).

[41] Lenton y Watson (2013), p. 367.

[42] Oppenheimer (2011), p. 179.

[43] Eriksson *et al.* (2012).

[44] *Ibid*.

[45] Paine (2013), p. 14.

[46] McNeill (2012).

[47] Woodward (2014), p. 29.

[48] *Ibid*.

[49] Morris (2011), loc. Kindle 1444.

[50] Holen *et al.* (2017).

[51] Rose *et al.* (2011).

[52] Bradley (2008).

[53] McNeill (2012).

[54] Ermini *et al.* (2015).

[55] McNeill (2012).

[56] Publicaciones del Servicio Geológico de Estados Unidos, «Past Glaciations and "Little Ice Ages"», <https://pubs.usgs.gov/pp/p1386i/chile-arg/wet/past.html>.

[57] Novacek (2008), p. 267.

[58] Un análisis sobre las consecuencias para la historia de Estados Unidos de una Edad de Hielo menos helada apareció en Dutch (2006); Alvarez (2018), p. 68.

[59] Stager (2012), loc. Kindle 305; Summerhayes (2015), p. 264.

[60] Woodward (2014), p. 29.

[61] Ruddiman (2016), p. 44.

[62] Gibbard (2007).

[63] *Ibid*.; Gupta *et al.* (2007); Gupta *et al.* (2017). Sobre las consecuencias de la última Edad de Hielo para la historia de Europa, véase Dutch (2006).

[64] Frankopan (2016), p. 387.

[65] Kaplan (2017), loc. Kindle 643.

[66] Marshall (2016), p. 91; Kaplan (2017), loc. Kindle 650.

[67] Frankopan (2016), p. 386.

3. Nuestro regalo biológico

[1] Shakun *et al.* (2012).

[2] Murton *et al.* (2010).

[3] Törnqvist y Hijma (2012); Summerhayes (2015), p. 255.

[4] McNeill (2012).

[5] Belfer-Cohen (1991); Bar-Yosef (1998); Grosman *et al.* (2008).

[6] Teller *et al.* (2002); Tarasov y Peltier (2005); Woodward (2014), p. 130.

[7] Belfer-Cohen (1991); Bar-Yosef (1998); McNeill y McNeill (2004), p. 23; Grosman *et al.* (2008); Balter (2010); Shubin (2014), p. 177.

[8] McBrearty y Brooks (2000); Sterelny (2011).

[9] Ruddiman (2016), p. 63.

[10] McNeill (2012); Lenton y Watson (2013), p. 369.

[11] White (2012); Balter (2010).

[12] Morton (2016), p. 226.

[13] Richerson *et al.* (2001).

[14] Hodell *et al.* (1995); Mayewski *et al.* (2004). Véanse, para un análisis general, Diamond (2011); Cowie (2012); Brooke (2014).

[15] McNeill (2012).

[16] Petit *et al.* (1999); Wright (2006), p. 50.

[17] Sage (1995); Richerson *et al.* (2001); Morton (2016), p. 229.

[18] Kilian *et al.* (2010).

[19] Lenton y Watson (2013), p. 369.

[20] Ruddiman (2016), p. 71.

[21] McNeill y McNeill (2004), p. 33.

[22] Ruddiman (2016), p. 70.

[23] McNeill y McNeill (2004), p. 32.

[24] Londo *et al.* (2006); Ruddiman (2016), p. 70.

[25] Kimber (2000).

[26] Larson *et al.* (2014).

[27] *Ibid*.

[28] *Ibid*. Para referencias generales sobre la localización y las épocas de la domesticación de plantas cultivadas, véanse Diamond y Bellwood (2003); Fuller

et al. (2014); Larson *et al.* (2014).

[29] Janzen y Martin (1982); Guimaraes *et al.* (2008); Yong (2015).

[30] Larson *et al.* (2014).

[31] Thompson (2010), p. 27; McNeill (2012).

[32] Lieberman (2014), p. 188; Marr (2013), loc. Kindle 563.

[33] Marr (2013), loc. Kindle 563.

[34] Lenton y Watson (2013), p. 368.

[35] Brooks (2006); Morris (2011), loc. Kindle 2867.

[36] Reader (2005), p. 27.

[37] McNeill y McNeill (2004), p. 43.

[38] Reader (2005), p. 25.

[39] Stager (2012), loc. Kindle 3153.

[40] Brooks *et al.* (2005).

[41] Brooks (2006); De Blij (2011), p. 142; Nicoll (2013).

[42] Allen (1997); Morris (2011), loc. Kindle 2945; White (2012); Nicoll (2013).

[43] Brooks (2006); White (2012).

[44] Marr (2013), p. 64.

[45] Wright (2006), p. 102; Marshall (2016), p. 108.

[46] Marshall (2016), p. 108.

[47] McNeill y McNeill (2004), p. 53.

[48] *Ibid*., p. 43.

[49] Ermini *et al.* (2015).

[50] McNeill y McNeill (2004), p. 29.

[51] Larson *et al.* (2014).

[52] *Ibid*.

[53] Anthony (2010), p. 102.

[54] McNeill y McNeill (2004), p. 31.

[55] Curry (2013).

[56] McNeill y McNeill (2004), p. 31.

[57] *Ibid*.

[58] Anthony (2010), loc. Kindle 2568.

[59] Watson (2012), p. 139.

[60] Agencia Internacional de la Energía, <www.iea.org/topics/coal>.

[61] Thompson (2010), p. 70; Hanson (2016), p. 67.

[62] Novacek (2008), p. 153.

[63] Stow (2010), p. 146.

[64] Kourmpetli y Drea (2014).

[65] Kellogg (2001); Novacek (2008), p. 226.

[66] Hanson (2016), p. 75.

[67] Lenton y Watson (2013), p. 340.

[68] Bryan (2015), p. 136.

[69] Corán 2, 173; traducción de Sahih International, quran.com.

[70] Gingerich (2006).

[71] Wing *et al.* (2005); McInerney y Wing (2011).

[72] Nield (2014), p. 211.

[73] Weijers *et al.* (2007).

[74] McInerney y Wing (2011).

[75] Woodburne *et al.* (2009).

[76] Gingerich (2006).

[77] Gingerich (2006); McInerney y Wing (2011); Gehler *et al.* (2016).

[78] McInerney y Wing (2011).

[79] Bowen *et al.* (2002); Gingerich (2006); McInerney y Wing (2011).

[80] Diamond (1998), p. 140; Morris (2011), loc. Kindle 1979.[81] Diamond (1998), cap. 10; véanse también McNeill (2001); Ramachandran y Rosenberg *et al.* (2011); Laitin *et al.* (2012).

[82] Bernstein (2009), p. 70.

[83] Diamond (1998), pp. 159-162.

[84] Stahl (2008).

[85] Bernstein (2009), p. 19.

[86] Diamond (1998).

[87] Twining (2009); Marshall (2016), p. 38.

[88] <www.worldwildlife.org/stories/the-earth-has-a-third-pole-and-millions-of-people-use-its-water>; Sinha (2010); Qiu (2014).

[89] Stow (2010), p. 188; Qiu (2014).

[90] <www.worldwildlife.org/stories/the-earth-has-a-third-pole-and-millions-of-people-use-its-water>; Sinha (2010).

[91] Kaplan (2017), p. 225.

[92] Sinha (2010).

[93] *Ibid*.

[94] Lim (2004); Wong (2010).

4. La geografía de los mares

[1] Stewart (1994); Hoffecker (2005); Hu *et al.* (2009).

[2] Rick y Erlandson (2008), p. 230; Barrett *et al.* (2011); Sahrhage y Lundbeck (2012), cap. 2.

[3] Fagan (2001), loc. Kindle 879; Pye (2015), p. 177.

[4] Fagan (2001), loc. Kindle 215-260, 820 y 910; Hoffman (2017), p. 115.

[5] Pye (2015), p. 259.

[6] Bernstein (2009), p. 272.

[7] Marr (2013), p. 356.

[8] Bernstein (2009), p. 273.

[9] Allen (2009), p. 138.

[10] Henrich (2004).

[11] Leidwanger *et al.* (2014).

[12] Force (2015), p. 143.

[13] Fernández-Armesto (2002), p. 361.

[14] Véron (2006).

[15] Brotton (2013), p. 17.

[16] Maslin y Christensen (2007); García-Castellanos *et al.* (2009); Stow (2010), loc. Kindle 470.

[17] Woodward (2014), p. 121.

[18] Stow (2010), loc. Kindle 472; Krijgsman *et al.* (1999).

[19] Maslin y Christensen (2007).

[20] García-Castellanos *et al.* (2009).

[21] Paine (2013), p. 3; Bernstein (2009), p. 44.

[22] Stavridis (2018), p. 23.

[23] East (1967), p. 170.

[24] Bernstein (2009), p. 18.

[25] East (1967), p. 170; Bernstein (2009), p. 50.

[26] Bernstein (2009), p. 18.

[27] *Ibid*., p. 94; Braudel (1995), p. 55.

[28] Bernstein (2009), p. 145.

[29] Oppenheimer (2011), cap. 8.4; Gatti y Oppenheimer (2012).

[30] Paine (2013), p. 168.

[31] Crowley (2016), loc. Kindle 852.

[32] Frankopan (2016), p. 329.

[33] Paine (2013), p. 281.

[34] Hanson (2016), p. 131.

[35] Bernstein (2009), p. 52.

[36] *Ibid*., p. 142; Paine (2013), p. 280.

[37] Bernstein (2009), p. 142; Paine (2013), p. 280.

[38] Paine (2013), p. 281; Frankopan (2016), p. 271.

[39] Bernstein (2009), p. 134.

[40] Paine (2013), p. 169.

[41] Bernstein (2009), p. 134; Crowley (2016), loc. Kindle 3865.

[42] Crowley (2016), loc. Kindle 3865.

[43] Bernstein (2009), p. 141.

[44] McNeill (1963), p. 194; Marr (2013), p. 94.

[45] McNeill (1963), p. 198; Marr (2013), p. 95; Kaplan (2017), loc. Kindle 865.

[46] Reader (2005), p. 53.

[47] Bernstein (2009), p. 57.

[48] Fromkin (2000), p. 70.

[49] Bernstein (2009), p. 454.

[50] Cuellos de botella mundiales del transporte de petróleo, <www.eia.gov/beta/international/regions-topics.cfm?RegionTopicID=WOTC>.

[51] *Ibid*.

[52] <http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/november/29/newsid_3247000/ McDermott (1998), pp. 136 y 142.

[53] Corones (2015).

[54] Friedman (2017).

[55] Cuellos de botella mundiales del transporte de petróleo, <www.eia.gov/beta/international/regions-topics.cfm?RegionTopicID=WOTC>.

[56] Stern (2010).

[57] Marshall (2016), p. 143.

[58] Friedman (2017).

[59] Esta argumentación sobre la relación entre las pautas electorales y un mar antiguo es de Dutch (2002).

[60] Elecciones estadounidenses de 2016: victoria de Trump en mapas, <www.bbc.co.uk/news/election-us-2016-37889032>.

5. Con qué construimos

[1] Morris (2011), loc. Kindle 997.

[2] Para más detalles sobre la construcción de la Gran Pirámide, véanse

Verner (2001), cap. 3; Sweeney (2007), p. 16.

[3] Stow (2010), p. 166.

[4] *Ibid*.

[5] Fortey (2010), p. 284.

[6] Bernstein (2009), p. 39.

[7] Phillips (1988).

[8] *Ibid*.

[9] The Getty Centre: Architecture, <www.getty.edu/visit/center/architecture.html>.

[10] Siddall (2015).

[11] Nield (2014), p. 47.

[12] Brison (2005); Sakellariou y Galadinou (2016), p. 168.

[13] Stow (2010), p. 135.

[14] Pollard (2017).

[15] Sheridan (2002).

[16] Stow (2010), p. 133; Stampfli *et al.* (2013).

[17] Rasmussen (2012), p. 45.

[18] Chen y Benton (2012).

[19] Wignall (2017), p. 64.

[20] *Ibid*., p. 9.

[21] *Ibid*., p. 161.

[22] *Ibid*.

[23] *Ibid*., p. 169.

[24] Myers (1997); Fortey (2005), p. 304.

[25] Fortey (2005), p. 297.

[26] Koestler-Grack (2010), p. 39.

[27] Nield (2014), p. 140.

[28] *Ibid*.

[29] Kneller y Aftalion (1987).

[30] Zalasiewicz (2012), p. 42.

[31] Fortey (2010), p. 171.

[32] Fortey (2005), p. 309.

[33] Gregory (2010), p. 22.

[34] Fortey (2010), p. 248.

[35] *Ibid*., p. 97.

[36] Schuberth (1968), p. 81; Barr *et al.* (2011).

[37] Fortey (2005), p. 243; Barr *et al.* (2011).

[38] Winkless (2017).

6. Nuestro mundo metálico

[1] De Ryck *et al.* (2005); Roberts *et al.* (2009).

[2] Bernstein (2009), p. 37.

[3] Goody (2012), p. 9.

[4] Bernstein (2009), p. 37.

[5] Fokkens y Harding (2013), p. 420.

[6] Fortey (2005), p. 294.

[7] Bernstein (2009), p. 38.

[8] Kassianidou (2013).

[9] Candela (2005), p. 423.

[10] Fortey (2005), p. 188.

[11] *Ibid*.

[12] Departamento de Investigaciones Geológicas de la República de Chipre, <www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/dmltroodos_en/dmltroodos_en>.

[13] Cann y Gillis (2004).

[14] Stow (2010), p. 200.

[15] Kassianidou (2013).

[16] *Ibid*.

[17] Constantinou (1982); Socratous *et al.* (2011); Kassianidou (2013).

[18] Wagner y Wellmer (2009), p. 98.

[19] Hughey *et al.* (2013).

[20] Marr (2013), p. 70.

[21] *Ibid*.

[22] Angelakis *et al.* (2006); Oppenheimer (2011), p. 279.

[23] Oppenheimer (2011), p. 279.

[24] *Ibid*., p. 233.

[25] Oppenheimer (2011), p. 278.

[26] *Ibid*., pp. 278 y 293.

[27] *Ibid*., p. 292.

[28] Winchester (2011), pp. 62-68.

[29] Stow (2010), p. 203.

[30] Roebroeks *et al.* (2012).

[31] Osborne (2013), Needham (1965), p. 370.

[32] Mokyr (1992), p. 210.

[33] Oleson (2009), p. 170.

[34] McNeill y McNeill (2004), pp. 101-102.

[35] Andersen *et al.* (2016).

[36] Hillstrom y Hillstrom (2005), p. 11.

[37] Kasen *et al.* (2017).

[38] Sagan (1973), p. 190; Shubin (2014), p. 33; Schrijver y Schrijver (2015), p. 129; Kukula (2016), loc. Kindle 236.

[39] Kleine (2011).

[40] Walker (2006).

[41] Ridley (2013), p. 297.

[42] Klein (2005); Shubin (2014), p. 81.

[43] Lenton y Watson (2013), p. 243.

[44] Hamilton *et al.* (2016).

[45] Lenton y Watson (2013), p. 183.

[46] Lyons *et al.* (2014).

[47] Lenton y Watson (2013), pp. 29-33; Lyons *et al.* (2014); Falkowski (2015), p. 88.

[48] Lenton y Watson (2013), p. 30.

[49] Scott y Glasspool (2006).

[50] Hagelüken (2014).

[51] Rohrig (2015).

[52] Graedel *et al.* (2014).

[53] Schwarz-Schampera (2014).

[54] Graedel *et al.* (2014).

[55] Belli *et al.* (2007).

[56] Gunn (2014).

[57] *Ibid*.

[58] Sadykov *et al.* (2000).

[59] Stewart *et al.* (2005); Erisman *et al.* (2008).

[60] Krivolutskaya *et al.* (2016).

[61] Gunn (2014).

[62] *Ibid*.

[63] Humphreys (2014).

[64] Gunn (2014).

[65] Kinnaird (2005); Ridley (2013), p. 61.

[66] Sociedad Estadounidense de Química, «Endangered Elements», <www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/research-innovation/endangered-elements.html>.

[67] Graedel *et al.* (2014); Humphreys (2014).

[68] Clapper (2013), p. 11.

[69] Jacobs (2018).

[70] Lewis (2008); Warren y Read (2014); Wagland y Gomes (2016).

[71] Kolarik y Renard (2005).

7. Rutas DE LA SEDA Y PUEBLOS DE LAS ESTEPAS

[1] McNeill y McNeill (2004), p. 65.
[2] Kaplan (2017), p. 212.
[3] Marshall (2016), p. 31.
[4] Kaplan (2017), p. 212.
[5] Pye (1995); Vasiljevic´ *et al.* (2014).
[6] Wright (2006), p. 104.
[7] Haase *et al.* (2007); Vasiljevic´ *et al.* (2014).
[8] Fromkin (2000), p. 41.
[9] Braudel (1995), p. 352; Van der Wel (2014).
[10] East (1967), p. 166; Marr (2013), p. 139.
[11] Millward (2013), p. 78.
[12] *Ibid*., p. 81.
[13] East (1967), p. 168; Bernstein (2009), p. 9.
[14] Bernstein (2009), p. 9.
[15] *Ibid*.
[16] Millward (2013), p. 80.
[17] Watson (2012), p. 462.
[18] East (1967), p. 175.
[19] Ji *et al.* (2009).
[20] Orlando (2016); Marr (2013), p. 253.
[21] Piantadosi (2003), p. 82.
[22] *Ibid*., p. 81.
[23] McNeill y McNeill (2004), p. 95.
[24] Bernstein (2009), p. 74.
[25] McNeill y McNeill (2004), p. 98.
[26] McDougall (1983); McDougall (1990); Marr (2013), p. 254.
[27] Frankopan (2016), p. 30.

[28] Braudel (1995), p. 63.
[29] East (1967), p. 175.
[30] Bernstein (2009), p. 139.
[31] Millward (2013), p. 22.
[32] Barry y Hall McKim (2014), p. 146.
[33] Millward (2013), p. 23.
[34] Marr (2013), p. 337.
[35] Millward (2013), p. 24.
[36] Marr (2013), p. 337.
[37] Millward (2013), p. 60.
[38] Anthony (2010), loc. Kindle 3521.
[39] Millward (2013), p. 95.
[40] Anthony (2010), p. 101.
[41] Anthony (2010), loc. Kindle 6495; Millward (2013), p. 95.
[42] Keegan (1993), p. 240.
[43] Watson (2012), p. 288.
[44] Schmidt (2017).
[45] Fortey (2005), p. 471.
[46] Bernstein (2009), p. 113.
[47] Millward (2013), loc. Kindle 350.
[48] McNeill y McNeill (2004), pp. 100-101.
[49] Fernández-Armesto (2002), p. 115.
[50] Keegan (1993), p. 190; Kaplan (2017), loc. Kindle 1196.
[51] Keegan (1993), pp. 180 y 206.
[52] Marshall (2016), p. 33.
[53] East (1967), p. 66.
[54] *Ibid*., p. 68.
[55] Keegan (1993), p. 183.
[56] *Ibid*., pp. 184 y 186; McNeill y McNeill (2004), p. 100.
[57] Keegan (1993), p. 212.

[58] Frankopan (2016), p. 289.

[59] Millward (2013), p. 41; Marr (2013), p. 262.

[60] Frankopan (2016), p. 75.

[61] McCormick *et al.* (2012), p. 190; Brooke (2014), p. 347.

[62] McCormick *el al.* (2012), p. 190.

[63] Keegan (1993), pp. 184 y 186; Fromkin (2000), p. 97.

[64] Keegan (1993), p. 187.

[65] Frankopan (2016), p. 76.

[66] *Ibid*.

[67] *Ibid*., p. 77.

[68] Marr (2013), p. 264.

[69] Millward (2013), p. 237.

[70] *Ibid*.

[71] *Ibid*., p. 47; Frankopan (2016), p. 237.

[72] Frankopan (2016), p. 237.

[73] Millward (2013), p. 47.

[74] Frankopan (2016), p. 242.

[75] *Ibid*., p. 244.

[76] Marr (2013), p. 264.

[77] Frankopan (2016), p. 244.

[78] East (1967), p. 177.

[79] Frankopan (2016), p. 249.

[80] Marr (2013), p. 264; Frankopan (2016), p. 249.

[81] Keegan (1993), p. 201; Marr (2013), p. 264.

[82] Millward (2013), p. 48; Frankopan (2016), p. 240.

[83] Frankopan (2016), p. 241.

[84] *Ibid*., p. 261.

[85] Bernstein (2009), pp. 113 y 146; Watson (2012), p. 461; Millward (2013), p. 48.

[86] McNeill y McNeill (2004), p. 124; Millward (2013), p. 48.

[87] Watson (2012), p. 462.

[88] Fernández-Armesto (2002), p. 131.

[89] Frankopan (2016), p. 274.

[90] Fagan (2001), loc. Kindle 598 y 949; McNeill y McNeill (2004), p. 120.

[91] Marr (2013), p. 278.

[92] Frankopan (2016), p. 278.

[93] Marr (2013), p. 279.

[94] Morris (2011), p. 390; Marr (2013), p. 265.

[95] Bernstein (2009), p. 160.

[96] Roberts (1967); Parker (1976); Rogers (2018); Morris (2011), loc. Kindle 7186.

[97] McNeill y McNeill (2004), p. 194.

[98] *Ibid*., p. 195.

[99] Morris (2011), loc. Kindle 7186.

[99] Millward (2013), loc. Kindle 1780.

[101] Vasiljevic´ *et al.* (2014).

[102] Frankopan (2016), pp. 524 y 718.

[103] Price (2009); Smith y Yarnell (2009).

[104] Watson (2012), p. 237.

[105] Terazono (2016).

8. La máquina global del viento y la era de los descubrimientos

[1] Fromkin (2000), p. 114; Crowley (2016), loc. Kindle 91-112.

[2] *Ibid*., loc. Kindle 190 y 243; Paine (2013), p. 389.

[3] Rosenbaum *et al.* (2002); Alvarez (2018), p. 73.

[4] Paine (2013), p. 377.

[5] Tomczak y Godfrey (1994), p. 422.

[6] Pim *et al.* (2008); Ramalho *et al.* (2010); «The Geology of Canary

Islands», *Encyclopedia of Islands*, <www.islandsinocean.com/view/The_Geology_of_Canary_Islands>.

[7] Cannat *et al.* (1999).

[8] Frankopan (2016), p. 300.

[9] *Ibid*., p. 298.

[10] Morris (2011), loc. Kindle 6535.

[11] Paine (2013), p. 385; Frankopan (2016), p. 298.

[12] Chamberlin (2013), p. 85; Paine (2013), p. 385.

[13] Winchester (2011), pp. 108-109.

[14] Paine (2013), p. 389.

[15] Chamberlin (2013), p. 72.

[16] Raudzens (2003), p. 216; Paine (2013), p. 386.

[17] Fromkin (2000), p. 116.

[18] Crowley (2016), loc. Kindle 411.

[19] *Ibid*., loc. Kindle 454.

[20] *Ibid*., loc. Kindle 248.

[21] *Ibid*., loc. Kindle 473.

[22] Paine (2013), p. 391.

[23] Bernstein (2009), p. 201; Marr (2013), p. 306; Paine (2013), p. 392.

[24] Paine (2013), pp. 64 y 388; Bernstein (2009), p. 204.

[25] Chamberlin (2013), p. 85; Crowley (2016), loc. Kindle 264.

[26] Paine (2013), p. 396.

[27] Rodger (2012).

[28] Huang y McElroy (2014).

[29] Winchester (2011), p. 116.

[30] *Oxford English Dictionary* (1989), 2.ª ed., Oxford University Press.

[31] Bernstein (2009), p. 209; Crowley (2016), loc. Kindle 732.

[32] Bernstein (2009), p. 214; Frankopan (2016), p. 321.

[33] Sauberlich (1997).

[34] Crowley (2016), loc. Kindle 1296.

[35] Clift *et al.* (2008); Boos y Kuang (2010); Raj (2013); Rajagopalan y Molnar (2013).

[36] Crowley (2016), loc. Kindle 844 y 852.

[37] *Ibid*., loc. Kindle 1374.

[38] Crowley (2016), p. 336.

[39] Brotton (2013), p. 189.

[40] Paine (2013), p. 376.

[41] Rodger (2012).

[42] Brotton (2013), p. 191.

[43]. *Ibid*., p. 196.

[44] *Ibid*., p. 211.

[45] *Ibid*., p. 198.

[46] Bernstein (2009), pp. 247-248.

[47] Fish (2010), p. 360; Headrick (2010), p. 40.

[48] McNeill y McNeill (2004), p. 202; Bernstein (2009), p. 249; Paine (2013), p. 407; Frankopan (2016), p. 335.

[49] Cunningham *et al.* (1996); Waltham (2005).

[50] Cunningham *et al.* (1996).

[51] Frankopan (2016), p. 335.

[52] Braudel (1995), p. 444.

[53] Bernstein (2009), p. 247; Paine (2013), p. 404; Frankopan (2016), p. 335.

[54] McNeill y McNeill (2004), p. 202; Morris (2011), loc. Kindle 439.

[55] Frankopan (2016), p. 341.

[56] Braudel (1995), p. 444; Waltham (2005).

[57] Bernstein (2009), p. 259.

[58] *Ibid*., p. 297.

[59] McNeill y McNeill (2004), p. 169; Paine (2013), p. 410.

[60] Marr (2013), p. 441.

[61] Jones *et al.* (2004), p. 41.

[62] Bernstein (2009), p. 341; Morris (2011), loc. Kindle 7290.

[63] Bernstein (2009), p. 338.

[64] McNeill y McNeill (2004), p. 169.

[65] Marr (2013), p. 442.

9. Energía

[1] Rackham (2009); Monbiot (2014) pp. 91-92.

[2] Morris (2011), loc. Kindle 7721.

[3] Needham (1965), p. 370.

[4] Leveau (1996); Morris (2011), loc. Kindle 4617.

[5] Greene (2000).

[6] Bithas y Kalimeris (2016).

[7] Marr (2013), p. 272.

[8] Smith (1997).

[9] Bithas y Kalimeris (2016).

[10] Kenrick y Crane (1997); Karol *et al.* (2001).

[11] Nelsen *et al.* (2016).

[12] Hanson (2016), p. 56.

[13] Lenton y Watson (2013), p. 307.

[14] Hanson (2016), p. 56.

[15] Weng y Chapple (2010).

[16] Nelsen *et al.* (2016).

[17] *Ibid*.

[18] Lenton y Watson (2013), p. 307.

[19] Fortey (2010), p. 168.

[20] Thomas (2013), p. 53; Shubin (2014), p. 82; Wignall (2017), p. 171.

[21] Morris (2011), loc. Kindle 470.

[22] McNeill y McNeill (2004), p. 231.

[23] Adams (2008); Schobert (2014), p. 64.

[24] Allen (2009), p. 235.

[25] Hillstrom y Hillstrom (2005), p. 16.

[26] Moylan (2017).

[27] Macalister (2015).

[28] BP (2017).

[29] Speight (2015), p. 64.

[30] Dalvi (2015), p. 5.

[31] Bithas y Kalimeris (2016), p. 8.

[32] Castree *et al.* (2009), p. 273.

[33] Browne (2014), loc. Kindle 4203.

[34] Castree *et al.* (2009), p. 273.

[35] Ulmishek y Klemme (1990); Larson (1991).

[36] Zalasiewicz (2012), p. 165.

[37] Stow (2010), p. 131.

[38] Helly y Levin (2004).

[39] Stow (2010), p. 102.

[40] Stoneley (1990); Ulmishek y Klemme (1990); Larson (1991); Mann *et al.* (2003); Sorkhabi (2016).

[41] Lenton y Watson (2013), p. 54.

[42] Wright y Schaller (2013); Zeebe *et al.* (2016).

[43] McInerney y Wing (2011).

[44] Gingerich (2006); McInerney y Wing (2011); Stager (2012), loc. Kindle 1178; Wing *et al.* (2005).

[45] Guinotte y Fabry (2008); Kroeker *et al.* (2010).

[46] Fortey (2010), p. 164.

[47] Stager (2012), loc. Kindle 489.

Coda

[1] Douglas y Lawson (2000); Zalasiewicz *et al.* (2011); Zalasiewicz *et al.* (2014).

Notas explicativas

(1) Dicho sea de paso, el Rift de África oriental no fue solo la cuna evolutiva y la primera guardería de la humanidad, sino la región en la que pasé mi infancia; fui a la escuela en Nairobi y pasé las vacaciones con mi familia en la sabana, los lagos y volcanes del valle del Rift. Son estas experiencias las que me han proporcionado desde siempre un interés por comprender nuestros orígenes.

(2) Volveremos al acontecimiento planetario que fue testigo de la aparición de los primates como grupo en el capítulo 3.

(3) El término inglés *rift* («fisura», «falla») ha sido adoptado por la geología moderna para identificar esta zona de distensión que se produce cuando dos placas continentales se separan, y también por la geografía (como el valle del Rift de África oriental, al que se aludía anteriormente). *(N. del T.)*

(4) El nombre procede de la canción de los Beatles «Lucy in the Sky with Diamonds», que sonaba a todo volumen en el campamento de excavación en el momento de su descubrimiento, en 1974.

(5) Al hablar de organismos es común abreviar el nombre del género. Así, *Australopithecus afarensis* se convierte en *A. afarensis*. El dinosaurio *Tyrannosaurus rex*, por ejemplo, es conocido simplemente como *T. rex*.

(6) Se han encontrado utensilios de la Edad de Piedra hechos a partir de materiales tales como cuarcita, pedernal, obsidiana volcánica y sílex. Estos tipos de roca están compuestos principalmente de sílice. Esta, que es dióxido de silicio, ha ofrecido el material básico para las tecnologías transformativas a lo largo de toda nuestra historia como especie, desde los utensilios líticos hasta el vidrio y las obleas de silicio de alta pureza de los microchips de los ordenadores modernos. De esta manera, el Rift de África oriental, que durante 2 millones de

años fue el centro de la tecnología avanzada de la manufactura de utensilios líticos, fue el Silicon Valley original. [*Silicon* es «silicio» en inglés. *(N. del T.)*]

(7) Las dos excepciones principales a esta pauta de civilizaciones antiguas que surgen sobre límites tectónicos fueron las de Egipto y China. Pero la civilización egipcia estuvo sostenida por la inundación regular del Nilo, que depositaba sedimento fértil erosionado de sus promontorios en las montañas que rodean el valle tectónico del rift en Etiopía y Ruanda. Y la civilización china se inició en la llanura del río Amarillo, en el norte, antes de extenderse hacia el sur en el valle del río Yangtsé; ambos ríos fluyen desde la meseta del Tíbet, solevada por la colisión continental de India y Eurasia. De modo que, aunque no están situadas a lo largo de un borde de placa, tanto la civilización egipcia como la china deben todavía su agricultura (y su riqueza) a características tectónicas recientes.

(8) En la actualidad, el verano en el hemisferio norte tiene lugar realmente cuando la Tierra se halla más alejada del Sol en su órbita elíptica.

(9) Tal como Sarah Palin dijo en 2008, desde Alaska se puede avistar Rusia. Por cierto, Rusia posee la isla occidental, Diómedes Mayor, y Estados Unidos la otra, Diómedes Menor. Dado que la franja horaria internacional pasa entre ellas, estas dos islas minúsculas que solo están unos pocos kilómetros la una de la otra se hallan en zonas horarias separadas por un día entero.

(10) El trabajo detectivesco que conlleva seguir el rastro de la expansión de la humanidad por todo el globo acarrea mucha incertidumbre en cuanto a las fechas y las rutas exactas que se tomaron, y suele haber discrepancias entre la evidencia genética, la fósil y la arqueológica. Aquí he expuesto la opinión de consenso, pero hay quien defiende que la humanidad llegó mucho antes a China, Australia o Norteamérica. Por ejemplo, un estudio reciente y polémico sostiene que una especie de hominino no identificada llegó a California durante la edad de hielo precedente, hace 130.000 años.[50] Sin embargo, lo más probable es que el éxodo de humanos modernos que salieron de África hace unos 60.000 años, y que dio origen a todos los pueblos que se encuentran en la actualidad en el mundo, no fuera el primero. Los restos fosilizados hallados en cuevas de Israel y

los utensilios líticos encontrados en la península Arábiga[51] sugieren migraciones anteriores, hace unos 100.000 años, pero al parecer llegaron a un punto muerto y no siguieron hasta poblar el resto del mundo.[52] Es casi como si chispas previas de la humanidad hubieran surgido de África, pero no hubieran prendido.

(11) Al parecer, los neandertales no fueron la única especie que se vio muy afectada por la aparición en su ambiente de los humanos modernos. La dispersión de estos últimos por nuevas regiones geográficas tuvo un impacto profundo en los ecosistemas locales de todo el mundo y en particular en los animales grandes, la llamada «megafauna». Hace aproximadamente 12.000 años, alrededor de un tercio de los mamíferos de cuerpo grande de Eurasia, y alrededor de dos tercios de los de Norteamérica, se habían extinguido. La causa más probable fue la llegada de cazadores humanos muy diestros, a los que estos grandes herbívoros no habían estado expuestos antes. El único continente que mantuvo su complemento de animales grandes fue África, donde durante millones de años la megafauna se había adaptado a los homininos mientras estos mejoraban lentamente sus actividades venatorias.[54]

(12) En realidad, este episodio de alrededor del año 11000 a. C. es solo uno de varios en que el lago Agassiz desaguó, pues las aguas del deshielo se acumularon de nuevo antes de irrumpir una vez más a través de la presa natural, lo cual condujo cada vez a un aumento súbito del nivel del mar a escala planetaria.[3]

(13) De hecho, es posible que haya habido ejemplos anteriores de sedentarización y agricultura que se tambalearon sin dejar ninguna traza arqueológica; inicios falsos en la aparición de la civilización. En particular, cualquier asentamiento en las llanuras costeras de la Edad de Hielo debe de hallarse ahora bajo las olas después de que el nivel de los océanos subiera de nuevo.[15]

(14) Resulta fascinante caer en la cuenta de que, si no hubieran sido salvadas inconscientemente por las personas, varias de las plantas que domesticamos se

habrían extinguido. Los frutos de los antepasados silvestres de los calabacines y las calabazas, por ejemplo, son todos repulsivos por su amargor y por poseer una piel dura. Se servían de manera natural de animales grandes, como los mamuts y los mastodontes, para que los abrieran y dispersaran las semillas de su interior. Cuando dichos animales se extinguieron, empezó la cuenta atrás para estas plantas. Pero, hace unos 10.000 años, estas especies fueron sacadas del borde del abismo cuando formaron una asociación simbiótica con una nueva especie animal, la de los humanos. Domesticamos estas plantas, les proporcionamos hábitats nuevos, mantenidos artificialmente en granjas y plantaciones, y las modificamos a lo largo de generaciones de cría selectiva para que fueran mayores, de piel más blanda y más comestibles. Se cree asimismo que los aguacates y el cacao se sirvieron en un principio de grandes mamíferos extinguidos en fecha reciente para la dispersión de sus semillas, y fueron salvados por los humanos que adoptaron estas especies fantasma y se convirtieron en dispersores de semillas sustitutos.[29]

(15) Estas ciudades sumerias, alimentadas por el suelo aluvial fértil, habían sido construidas en gran parte con el fango del río que había bajo sus pies, como veremos en el capítulo 5.

(16) En el sistema jerárquico que desarrollamos para clasificar a los diferentes organismos, los artiodáctilos, los perisodáctilos y los primates se conocen como órdenes diferentes. Todos se encuentran dentro de la clase de los mamíferos (y, en último término, en el reino de los animales) e incluyen especies individuales, por ejemplo, el toro y la vaca (*Bos taurus*).

(17) Los artiodáctilos no siempre fueron herbívoros. Hace 25 millones de años, *Archaeotherium*, emparentado con el hipopótamo y las ballenas, deambulaba por Norteamérica, y este depredador del tamaño de una vaca y con colmillos quizá llegase a atacar a rinocerontes.

(18) Esta distinción entre artiodáctilos y perisodáctilos no es solo un detalle esotérico de la biología evolutiva, sino que también la han incorporado profundamente las religiones. La Torá permite que los judíos coman tan solo

mamíferos que tengan ambas pezuñas hendidas y también que mastiquen el bolo. Así, desde el punto de vista evolutivo, solo consideran a los miembros de la rama rumiante de los ungulados artiodáctilos como *kosher*, o adecuados para el consumo. Las escrituras judías (Deuteronomio 14, 6-8) tratan también en concreto del camello, que a pesar de que anatómicamente es de dedos pares y de que mastica el bolo es proscrito como impuro (sus pies poseen suelas almohadilladas de piel endurecida que ocultan la pezuña).[68] La fe islámica, en cambio, es menos restrictiva en lo relativo al consumo de diferentes especies de mamíferos. El Corán solo excluye específicamente la carne de los cerdos y, a diferencia del judaísmo, por lo general se considera que el camello es halal.[69]

(19) Es importante tener claro que los primeros miembros de estos nuevos órdenes de mamíferos aparecieron en esta época, hace 55,5 millones de años, pero que las especies de estos órdenes con las que estamos familiarizados en la actualidad no surgieron por evolución hasta una fecha mucho más reciente; hace unos 2 millones de años en el caso del ancestro salvaje de los toros y las vacas, por ejemplo.

(20) Esto lo sabemos gracias a la medición del carbono contenido en rocas del fondo marino. Los átomos de este se presentan como diversas variantes con diferentes pesos atómicos, conocidas como «isótopos». El carbono ligero es captado de forma preferente por reacciones bioquímicas clave, de modo que es más abundante en las moléculas de los organismos vivos, o el dióxido de carbono o el metano que liberan. Cuando los científicos analizaron los isótopos de carbono de las rocas calizas depositadas en el fondo del mar durante el MTPE (que es una manera de medir la atmósfera de aquella época), encontraron un enorme aumento de la proporción de carbono ligero. Esto significa que el dióxido de carbono o el gas metano que habían sido liberados a la atmósfera para causar este máximo térmico tenían que proceder originalmente de la vida.

(21) De hecho, y por lo que a los humanos respecta, los mares de la Tierra son estériles desiertos de agua. Tal como Samuel Taylor Coleridge escribió en «Balada del viejo marinero», «Agua, agua por doquier, / y ni una gota para

beber». Su nivel de sal hace que beber agua de mar sea letal, por lo que los marineros necesitaban llevar provisiones de agua dulce, al igual que las caravanas que cruzaban los desiertos.

(22) La de los fenicios fue una civilización nacida claramente de su ambiente natural. Surgió hacia el año 1500 a. C. en la franja de tierra, estrecha pero fértil, que en la actualidad forma la costa de Siria, Líbano e Israel, y tenía acceso tanto a puertos naturales en la costa del Mediterráneo oriental como a bosques de cedros empleados en la construcción naval.[13] Los fenicios se dedicaron al mar y prosperaron durante aproximadamente mil años como marinos y mercaderes expertos, estableciendo una extensa red comercial y fundando muchas colonias en todo el litoral mediterráneo, entre ellas Cartago. También inventaron el alfabeto; la palabra «Biblia» procede en último término de la antigua ciudad fenicia de Biblos, que exportaba papiros para escribir.

(23) La otra parte del planeta estaba cubierta por un océano vasto e ininterrumpido, Pantalasa, que era más grande que el actual Pacífico.

(24) El puerto de Cartago se halla en este margen elevado, y la isla de Sicilia y la «puntera» de Italia son picos de esta misma barrera.

(25) Adén tuvo también un valor estratégico fundamental para los británicos a partir de mediados del siglo XIX. El puerto se halla en un punto aproximadamente equidistante del canal de Suez, de Bombay, en la costa occidental de India, y de Zanzíbar, en África oriental, todos los cuales se hallaban por aquella época bajo control británico. Durante el apogeo de los buques de vapor, Adén era una importante estación de paso para cargar carbón y agua para las calderas. Fue exactamente por la misma razón que Estados Unidos se anexionó Hawái en 1898, que sirvió como estación de abastecimiento de carbón para las operaciones navales estadounidenses en el Pacífico.[22]

(26) Otras fracturas de la corteza continental en el extremo norte del mar Rojo formaron los angostos golfos de Suez y Aqaba; esta última fisura se extiende para formar el mar de Galilea —también llamado lago Tiberíades o de Genesaret

—, el valle del Jordán y el mar Muerto, cuyas costas, que se encuentran a cuatrocientos metros bajo el nivel del mar, son el terreno más bajo de toda la superficie de la Tierra.

(27) Las pimientas negras de India son botánicamente muy diferentes de los pimientos dulces y los pimientos rojos, los chiles o guindillas, que son frutos de plantas del género *Capsicum* nativas de Centroamérica y Sudamérica. Estas especies del Nuevo Mundo eran desconocidas para el resto del planeta hasta la gran transferencia de plantas y animales domésticos que tuvo lugar en el siglo XV, tras el descubrimiento europeo de las Américas, conocido como «intercambio colombino».

(28) Tanto era así que a finales del siglo XVII, después de la Segunda Guerra Angloholandesa, se acordó que los derechos neerlandeses sobre Manhattan fueran cedidos a los ingleses a cambio de Run, una de las islas de las Especias más pequeñas de las Banda. Run tiene solo 3,5 kilómetros de longitud, pero su adquisición permitió a los holandeses asegurarse el monopolio del comercio de la nuez moscada en las Indias Orientales. Manhattan fue canjeado por la nuez moscada... y Nueva Amsterdam fue rebautizada como Nueva York.

(29) En aquella época, Europa tenía ya acceso a muchos condimentos y especias: el azafrán que crecía en España, tras su introducción por comerciantes árabes, el cilantro y el comino, nativos del Mediterráneo oriental, así como las especies aromáticas autóctonas de toda Europa, las hojas de romero, tomillo, orégano, mejorana y laurel. Pero las especias exóticas, como la pimienta, la nuez moscada, la macis y los clavos procedentes de Oriente, eran mucho más raras, y por lo tanto más valiosas en los mercados occidentales.[43]

(30) El paisaje dictó también la naturaleza de la guerra en Grecia. El terreno accidentado, con desfiladeros estrechos, montes y colinas escarpados, no es apropiado para las batallas de carros que habían sido comunes en las llanuras de Asia, ni tampoco lo es para las formaciones de caballería. En lugar de ello, los estados griegos desarrollaron ejércitos de hoplitas, soldados de infantería

armados con lanza y escudo que hacia el siglo VII a. C. eran adiestrados para luchar en apretadas formaciones de falange. Estos ejércitos de hoplitas no estaban formados por soldados profesionales, sino por ciudadanos (granjeros, artesanos y mercaderes) que compraban sus propias armas y su propia armadura de bronce. Así, las batallas de los griegos no las decidían una clase elitista que iba a lomos de caballos y montaba en carros, sino los ciudadanos comunes que trabajaban juntos, cada uno de los cuales confiaba en el hombre que tenía a su derecha en la falange para que lo protegiera con su escudo. Esta solidaridad entre los hombres libres en la cultura griega contribuyó al desarrollo temprano de la democracia en algunas ciudades Estado, en particular en Atenas (aunque las mujeres, los esclavos y los que no eran terratenientes seguían excluidos del proceso político).[45]

(31) El monte Etna es el volcán activo más alto de Europa y uno de los más activos del mundo, y entra regularmente en erupción, con magma generado cuando la placa Africana se subduce bajo la euroasiática.

(32) Los Dardanelos no son solo un cuello de botella vital entre el mar Mediterráneo y el mar Negro, sino también un punto estratégico de la travesía desde Europa hasta Asia Menor. Alejandro Magno los cruzó hacia Oriente en el 334 a. C. para conquistar Persia.[48]

(33) Antes de la invención de la brújula magnética, navegar en mar abierto era demasiado peligroso cuando no era posible ver las estrellas nocturnas.

(34) Cuando en 1611 los neerlandeses establecieron un paso nuevo y más rápido desde Sudáfrica a las Indias Orientales (la Ruta de Brouwer, que comentaremos en el capítulo 8), la puerta de entrada clave, y por tanto su foco estratégico, pasó del estrecho de Malaca al de la Sonda, entre Java y Sumatra.

(35) Referencia a un verso de la canción patriótica «America the Beautiful». *(N. del T.)*

(36) La nación insular de Japón también experimentó cerca de dos siglos de aislacionismo a partir de la década de 1630. Durante el periodo Edo, la política

de *sakoku* («país cerrado») impidió a la mayoría de los extranjeros la entrada al país y prohibió a los japoneses viajar a ultramar o construir buques transatlánticos. El único vínculo con el mundo exterior era a través de un solo puesto comercial que se permitió que los holandeses gestionaran en una minúscula isla de la bahía de Nagasaki. El contacto diplomático y comercial fue restablecido a partir de 1853, cuando vapores de guerra estadounidenses llegaron a la capital japonesa y obligaron al Gobierno a que abriera la nación al mundo.

(37) Los metales, como el bronce y después el hierro y el acero, eran tan poco accesibles al principio que se usaban solo para sujetar otros materiales estructurales más fácilmente disponibles, como clavos duros que unían travesaños de madera. No fue hasta la disponibilidad a bajo coste de hierro y acero a partir de la Revolución industrial, y las técnicas mecanizadas para la producción en masa de partes, cuando el metal se convirtió en un componente estructural importante; por ejemplo, las barras metálicas como elementos de refuerzo para el hormigón o las vigas pretensadas que sostienen puentes y modernos edificios de muchos pisos.

(38) Thomas Jefferson, el tercer presidente de Estados Unidos, colaboró en la redacción de la Declaración de Independencia, pero trabajó también en el diseño arquitectónico de algunos de los edificios de la nueva nación. Por ejemplo, proyectó el Capitolio estatal de Virginia a partir de un templo romano del siglo I a. C., la Maison Carrée de Nîmes (que a su vez influyó en el diseño de otros capitolios estatales de todo el país), y su diseño de la biblioteca de la Universidad de Virginia, con su rotonda y su cúpula, emulaba el Panteón de Roma. El neoclasicismo quizá sea más notorio en la ciudad fundada en 1790 como la nueva capital estadounidense a orillas del río Potomac, Washington D. C. El edificio del Capitolio (sede del Congreso), el edificio Herbert C. Hoover (sede central del Departamento de Comercio de Estados Unidos), el edificio del Tesoro y el Ayuntamiento son todos ellos ejemplos imponentes de este estilo neoclásico. Asimismo, la Casa Blanca fue diseñada por un arquitecto irlandés

que se basó en la Leinster House de Dublín (que más tarde se convertiría en la sede del Parlamento irlandés), que también imitaba las características arquitectónicas de la Antigüedad.

(39) El término «vidrio de cristal» es, no obstante, un nombre poco apropiado; la estructura atómica amorfa del vidrio es en muchos aspectos opuesta a la del patrón estrictamente regular y repetitivo de un cristal.

(40) De forma similar, la extinción en masa de finales del periodo Cretácico, hace 65 millones de años, acabó con el Mesozoico y dio paso a la era de la «vida nueva» (el Cenozoico). Creó nuestro mundo, dominado por los mamíferos y por las plantas con flores, o angiospermas, que hemos abordado en el capítulo 3.

(41) En comparación, la mayor erupción del último milenio, la del volcán Tambora en 1815, descargó solo 30 kilómetros cúbicos de material, 160.000 veces menos.[20]

(42) Este sentido se conserva también en lengua inglesa; originalmente, una *trapdoor* («trampilla») era una puerta que se abre a unas escaleras.

(43) La extinción en masa del final del Cretácico (que fue testigo de la muerte de los dinosaurios, junto con las tres cuartas partes de todas las especies marinas) coincide con la erupción de los Traps del Decán, en India. Esto ocurrió hace 66 millones de años, cuando el subcontinente se deslizaba hacia el norte, camino de su colisión final con Eurasia, y pasaba sobre un penacho de magma que emergió a la superficie. La puntilla final para la vida fue el impacto de un asteroide o cometa de 10 kilómetros que se estrelló al mismo tiempo en el golfo de México.

(44) En realidad, Cleopatra vivió más cerca en el tiempo del mundo moderno de los iPhones y de la pirámide de cristal del Museo del Louvre de París que de la antigua construcción de la Gran Pirámide de Guiza.

(45) Este es el proceso en virtud del cual se formó casi toda la arena de las playas y los desiertos del mundo.[30] El cuarzo es asimismo el material básico que utilizamos en la actualidad para producir vidrio, y lo refinamos hasta obtener las obleas de silicio purísimo de los microchips y los paneles solares. Además, no existía en la Tierra primitiva; fue creado por la acción de la tectónica de

placas durante cientos de millones de años. Hemos visto anteriormente que los límites convergentes provocan que la corteza se funda y forme enormes cámaras de magma. Cuando este se enfría en estos calderos enormes, los primeros minerales que se forman dejan el magma restante con una proporción cada vez mayor de sílice, que después cristaliza como granito. Aunque la composición primordial del manto profundo es de un 46 por ciento de sílice, el granito fruto de este proceso de diferenciación del magma se ha enriquecido hasta cerca de un 72 por ciento de sílice, un porcentaje lo bastante alto para que se formen cristales de cuarzo (sílice puro). Así, la tectónica de placas de nuestro planeta es como una planta de procesamiento químico, que actúa para purificar la sílice a lo largo del tiempo y de esta manera hace que esté disponible para las tecnologías humanas. Dicho sea de paso, esto significa que si los planetas similares a la Tierra que ahora estamos descubriendo que orbitan alrededor de otras estrellas no tienen tectónica de placas, bien pudiera ser que alberguen océanos cálidos, pero no tendrán playas arenosas.

(46) Porcelana fina. *(N. del T.)*

(47) En la actualidad, una de las antiguas canteras de caolín de Cornualles alberga el Proyecto Edén. Este centro ecológico para turistas consiste en un conjunto de cúpulas geodésicas construidas con burbujas de plástico hinchadas. Se trata de invernaderos innovadores que albergan biomas tropicales y mediterráneos, y apiñados dentro del pozo, parecido a un cráter, tienen casi el aspecto de una colonia de ciencia ficción en Marte.

(48) Mientras inspeccionaba excavaciones para minas de carbón y canales en Somerset, el topógrafo William Smith se dio cuenta de que diferentes capas de roca se encontraban siempre en la misma secuencia bajo tierra, y que dichos estratos podían identificarse por los fósiles que contenían. Viajó por toda Gran Bretaña para inspeccionar los estratos expuestos por los escarpes naturales y las canteras, los canales y las cortaduras para los ferrocarriles de la Revolución industrial; en 1815 Smith confeccionó su mapa geológico de Gran Bretaña, que muestra los diferentes estratos rocosos presentes cerca de la superficie.[33]

(49) Tal como hemos visto en el capítulo 4, gran parte del Mediterráneo septentrional es volcánico, fruto de la subducción de la placa tectónica Africana debajo de la euroasiática. Sin embargo, a pesar de los riesgos de las erupciones volcánicas, el vulcanismo también ofrece oportunidades. No solo el suelo volcánico es rico y fértil para la agricultura, sino que los romanos descubrieron que las propiedades de la ceniza volcánica la hacen adecuada para la fabricación de cemento «puzolánico». Este se usó para construirlo todo, desde puertos de mar (fragua incluso cuando se vierte bajo el agua) hasta acueductos y la enorme cúpula del Panteón, y la durabilidad y resistencia mecánica de este cemento y hormigón romanos son admiradas todavía por los ingenieros estructurales de la actualidad.

(50) No se han recuperado registros escritos de la propia erupción, aunque la escritura minoica lineal A no ha sido descifrada nunca, y quizá pudiera contener relatos de testigos presenciales.[24]

(51) El valor que la humanidad ha conferido al oro a lo largo de los tiempos no se debe solo a su escasez en la corteza terrestre. Es arreactivo, de modo que se encuentra como metal nativo (no está enlazado con otros átomos en una mena) y sus vetas pueden verse reluciendo en la cara de una roca o como motas erosionadas y vueltas a depositar en el cauce de un río. Esto también significa que no se deslustra; su brillo intenso no se apaga. Las joyas de oro no reaccionan con la humedad de nuestra piel, y las monedas de oro no se corroen; son almacenes estables de riqueza. Aunque otros metales tienen un brillo claro, sin matices, plateado, el oro también es especial por su color distintivo. Tanto su noble arreactividad como su color son en realidad consecuencia de la relatividad de Einstein. El electrón más externo del átomo de oro se mueve a una fracción importante de la velocidad de la luz, y por ello, debido a la relatividad, se vuelve más voluminoso y es empujado más cerca del núcleo. Esto reduce su disponibilidad para las reacciones químicas y hace que absorba luz azul, de modo que refleja la roja y la verde para producir un cálido color dorado.[40]

(52) Un segundo episodio, menor, de formación de BIF tuvo lugar hace unos

1.800 millones de años, y produjo las formaciones de Gunflint y Rove, que se extienden entre Minnesota y Ontario, a lo largo del lago Superior.[43]

(53) Antes de que el oxígeno empezara a acumularse en el aire, la atmósfera tampoco tenía una capa de ozono, que se forma a partir del oxígeno de la alta atmósfera, de modo que la radiación ultravioleta procedente del Sol debía de caer sobre la superficie del planeta. Esta radiación de elevada energía también debió de impulsar reacciones químicas en el seno de la atmósfera para crear diminutas gotitas de hidrocarburos, lo que seguramente envolvió a la Tierra primitiva en una neblina fotoquímica. Pero la acumulación de oxígeno en el aire reaccionó con esta neblina amarillenta para limpiarla... y los cielos se volvieron azules.

(54) Cuando los animales aparecieron por evolución mucho más tarde, proporcionaron nuevos refugios anóxicos dentro de su propio cuerpo. El tubo digestivo de un rumiante como la vaca, libre de oxígeno, recrea una pequeña cavidad de la Tierra primordial, lo que permite que microbios anaerobios medren y hagan funcionar su antiguo metabolismo generador de metano, que después la vaca libera por ambos extremos.

(55) Las primeras señales de carbón vegetal en el registro fósil, un indicador de incendios forestales, no aparecen hasta hace unos 420 millones de años, cuando los niveles atmosféricos de oxígeno superaron por primera vez el 13 por ciento.[49]

(56) Sin embargo, el iridio es más de mil veces más común en los asteroides, que eran demasiado pequeños para experimentar este proceso de diferenciación entre un núcleo de hierro y un manto y una corteza ricos en silicio. Por lo tanto, las elevadas concentraciones de iridio en la delgada capa de arcilla existente en todo el mundo, que señala el límite entre los periodos geológicos del Cretácico y el Paleógeno, son una de las evidencias más robustas de que un asteroide o cometa impactó en la Tierra hace 66 millones de años, en la época de la extinción en masa que acabó con los dinosaurios.

(57) «Platino» es una palabra de origen español y significa «pequeña plata».

El platino tuvo una larga historia como componente de los adornos elaborados por los nativos sudamericanos precolombinos (el metal puede hallarse entre las arenas del lecho de ríos en Ecuador y Colombia), antes de ser llevado a Europa por un oficial militar español.[56]

(58) Aunque no es un metal, también se indica que el helio se encuentra amenazado de manera crítica. Este elemento se emplea no solo para llenar los globos de las fiestas, sino que, en forma líquida ultrafría, sirve para enfriar los imanes superconductores usados en los escáneres de resonancia magnética de los hospitales o en laboratorios científicos de todo el mundo. El helio es en realidad el segundo elemento más abundante del universo, pero, al ser un gas tan ligero, sus átomos escapan fácilmente de la atmósfera de la Tierra hacia el espacio (mientras que la potente gravedad de Júpiter y Saturno, dos planetas gaseosos gigantes, retiene un elevado porcentaje de él en su atmósfera). En la Tierra, el helio se produce a gran profundidad. Cuando los elementos radiactivos como el uranio se desintegran emiten una forma de radiación denominada «partículas alfa», que son precisamente los núcleos de átomos de helio. Este queda atrapado bajo tierra en virtud de las mismas condiciones geológicas que el gas natural (que se forma en el mismo proceso que el petróleo, como veremos en el capítulo 9), de manera que la mayor parte del helio es extraído comercialmente en la producción de gas natural. Así pues, el gas helio no solo se extrae de las entrañas de la Tierra, sino que los globos que flotan en la fiesta de cumpleaños de un niño están llenos de átomos que antaño fueron partículas de radiación de gran velocidad.

(59) Se ha hecho otra propuesta particularmente interesante para complementar el suministro de los metales del grupo del platino procedentes de rocas formadas de forma natural. Los elementos de MGP más ligeros (el rutenio, el rodio y el paladio) se crean en cantidades importantes como subproductos de la desintegración del uranio en los reactores nucleares, y podrían extraerse a un bajo coste de las barras de combustible agotado. Esto constituye una alquimia de la vida real (transmutar un elemento en otro), aunque no mediante el

descubrimiento de una piedra filosofal sino empleando métodos que los alquimistas de la historia no alcanzarían a comprender: las reacciones de mutación atómica de la fisión nuclear.[71]

(60) Los suelos de loess no cubren más del 10 por ciento de la superficie terrestre, pero ofrecen algunas de las tierras agrícolas más productivas del mundo. Junto a la gruesa meseta de loess de China, una amplia banda de este sustrato recorre la región esteparia de Asia central, y existen asimismo retazos de estos suelos fértiles en Europa septentrional.[7]

(61) Esta extensión del Imperio romano ha tenido una influencia que ha persistido durante mucho tiempo en el transcurso de la historia, y su impronta es todavía evidente en la distribución geográfica de las tres formas de la fe cristiana en la Europa moderna: el catolicismo, el protestantismo y la Iglesia ortodoxa oriental. El cisma entre Oriente y Occidente de 1054 vio como la cristiandad se dividía en dos ramas principales: los católicos romanos, dirigidos por el Papa, y los cristianos ortodoxos orientales, encabezados por el Patriarca de Constantinopla. El segundo cisma importante fue la separación del protestantismo respecto del catolicismo en el siglo XVI, como resultado de la Reforma que se había iniciado en Alemania (territorio que había quedado fuera del Imperio romano). Esta división tripartita de Europa tuvo lugar a lo largo de dos líneas de fractura principales. La primera, entre el catolicismo y la ortodoxia oriental, seguía el río Danubio en su recorrido a través de las llanuras de Hungría (la antigua demarcación de las zonas de influencia de los imperios romanos oriental y occidental, aproximadamente equidistante entre sus capitales en Roma y Constantinopla). La segunda línea sigue la antigua frontera del Imperio romano a lo largo del Rin y el límite entre la civilización latina y las tribus germánicas, con los territorios que adoptaron el protestantismo situados más allá de la antigua frontera romana. A grandes rasgos, los tres cristianismos siguen las fronteras del antiguo imperio, que a su vez están definidas por los límites naturales del paisaje subyacente.[9]

(62) El hecho de que la seda llegara por estas rutas tan dispares hizo que los romanos creyeran que provenía de dos lugares diferentes: transportada por tierra desde el país de los seres y por mar desde el de Sinae.[15] Los romanos tampoco sabían exactamente cómo se producía el hilo de seda y creían que se almohazaba de hojas en el bosque, una equivocación que quizá se debiera al hecho de que las orugas de la seda son alimentadas con hojas de morera.[16] Los chinos han tenían un malentendido parecido acerca del origen natural del algodón que recibían de India, y creían que era el «pelo peinado de ciertas ovejas acuáticas»[17] y no, en realidad, las fibras esponjosas que revisten las semillas de una planta que está emparentada con el quimbombó y el cacao.

(63) La seda se volvió menos importante a lo largo de estas rutas comerciales entre Oriente y Occidente a partir del año 550 d. C., aproximadamente, cuando se pasaron de contrabando hasta Constantinopla huevos de la mariposa de la seda, lo que puso en marcha una nueva industria sedera que debilitó al monopolio chino previo.[29]

(64) Esto fue algo de lo que se vieron privadas las civilizaciones más aisladas de las Américas. Cuando se restableció el contacto entre los pueblos de Eurasia y de las Américas a finales del siglo XV (por primera vez desde que el puente continental de Bering quedó cortado al final de la última era glaciar), la civilización euroasiática estaba mucho más avanzada en cuanto a comprensión científica y capacidad tecnológica. El patrimonio común formado a lo largo de milenios, facilitado por las rutas comerciales terrestres y marítimas, fue una de las principales razones de este desarrollo más veloz.

(65) Durante este periodo, el hemisferio norte experimentó un enfriamiento generalizado conocido como la Pequeña Edad de Hielo, y por ello las pieles para calentarse eran muy buscadas. En la actualidad conservamos vestigios de este periodo frío en la vestimenta formal adornada con pieles de los jueces y alcaldes británicos, así como en las togas académicas; todas estas prendas fueron diseñadas en aquella época.[36]

(66) En la actualidad, la estepa kazaja, muy poco poblada, ofrece la localización perfecta para que Rusia lance sus cohetes desde el cosmódromo de Baikonur, y, al volver, las cápsulas que albergan a la tripulación descienden mediante paracaídas hasta posarse en las llanuras planas y vacías de este mar de hierba. En comparación, la NASA lanza sus misiones hacia el este, a través del océano Atlántico, y antes de la lanzadera espacial sus cápsulas amerizaban en los océanos Atlántico Norte o Pacífico Norte, donde se recuperaba a la tripulación desde un barco.

(67) Una combinación importante de cría de caballos y transporte sobre ruedas fue la construcción del carro de guerra de radios ligeros y de movimiento rápido hacia el año 2000 a. C.[41] Arrastrado por una pareja de caballos bien adiestrados y portando un lanzador de jabalinas o un arquero, fue el tanque de la *Blitzkrieg* de la Edad del Bronce. Los carros revolucionaron la guerra y transformaron tanto los conflictos entre las ciudades Estado y los imperios como la invención posterior de la pólvora. Pero para cuando Homero escribió la *Ilíada*, hacia el año 800 a. C., unos cinco siglos después de la guerra de Troya, esta tecnología militar de la Edad del Bronce ya hacía tiempo que estaba obsoleta; había sido sustituida por las formaciones cerradas de infantería armada con espadas o por la rápida caballería armada con el arco compuesto.[42] El carro de combate sobrevivió simplemente como un símbolo de prestigio y poder; en las mitologías persa, india, grecorromana y escandinava todos los dioses conducen uno. Incluso en la actualidad, muchas ciudades tienen monumentos que muestran una cuadriga, como el Arco del Triunfo del Carrusel y la Puerta de Brandemburgo.

(68) Los Urales son una de las cordilleras más antiguas que sobreviven, formada hace alrededor de 250-300 millones de años, cuando la placa Siberiana se acopló en el lado oriental de Pangea, señalando así la última fase de la formación del supercontinente. Al igual que el ofiolito que se conserva de manera prístina sobre Chipre y que hemos comentado en el capítulo 6, la cordillera de los Urales contiene asimismo motas de corteza procedente de un

océano que desapareció hace muchísimo tiempo, con lo que detenta un patrimonio de ricas minas de cobre.[45]

(69) En numerosas ocasiones a lo largo de los siglos XIII y XIV, los mongoles invadieron también la región noroccidental de India, pero no fue hasta 1526 cuando uno de los descendientes de Gengis Kan estableció el Imperio mogol en el subcontinente.[81]

(70) En cambio, los terratenientes de Europa oriental conservaron más poder y pudieron someter al campesinado que quedaba a un vasallaje más férreo.

(71) En este capítulo me he centrado en las estepas que recorren el espinazo de Eurasia, pero la misma región ecológica aparece también en Norteamérica. Las praderas llegan en una ancha franja directamente al centro de Estados Unidos, y ocupan la región seca del interior continental y la sombra de la lluvia de las montañas Rocosas. Tal como ya hemos visto, comparada con Eurasia, Norteamérica tenía un patrimonio biológico empobrecido. El caballo se había extinguido en sus tierras de origen y no había vacas ni ovejas que sostuvieran a los nómadas de las estepas. El mamífero dominante de las praderas, el bisonte, era cazado por las tribus indígenas, pero no se dejó domesticar. Plantas como la calabaza, así como varias especies portadoras de semillas, como el girasol, habían sido domesticadas hace unos 4.000 años en el este de Norteamérica,[103] pero el cinturón de praderas representaba una enorme zona de la Tierra que nunca se utilizó para la agricultura.[104] Todo esto cambió después de la conquista europea, con la llegada de colonos que llevaron consigo las reses y las plantas domesticadas en el Viejo Mundo. Las praderas más secas del oeste resultaron perfectas para criar ganado en el campo, y a lo largo de los dos últimos siglos, con la ayuda de arados de borde de acero, técnicas de irrigación avanzadas y fertilizantes y plaguicidas artificiales, se han convertido en algunas de las tierras agrícolas más productivas del planeta.

(72) En 2016, Rusia se convirtió en el mayor exportador mundial de trigo; gran parte de la cosecha provenía de la región de estepas al norte del mar Negro

y tuvo por destino Oriente Próximo y África del Norte.[105]

(73) El nombre moderno de Gibraltar procede del árabe Jabal Tariq, «monte de Tarik», por el general islámico que dirigió dicha invasión. En el mundo antiguo, Gibraltar formaba una de las dos columnas de Hércules (la otra es el monte Abila, en la costa de África del Norte) que señalaban el inicio del fin del mundo conocido. Con la expansión europea en el Atlántico, el estrecho de Gibraltar se convirtió en un cuello de botella marítimo vital que controlaba el acceso al Mediterráneo.

(74) La razón de que España se incorporase a la era de la exploración bastante más tarde que Portugal tiene también que ver con la tectónica de placas. Tal como hemos visto, el Mediterráneo es una región compleja desde el punto de vista tectónico, formado por la desaparición del mar de Tetis cuando África embistió a Eurasia y con una caótica confusión de pequeños fragmentos de corteza continental que quedaron atrapados en la zona de colisión. Uno de tales fragmentos es el microcontinente de Alborán, que a lo largo de los últimos 20 millones de años se ha desplazado hacia el oeste para chocar contra el margen sudoriental de España y ha solevado la cordillera de Sierra Nevada.[3] Fue allí, en un terreno irregular y fácilmente defendible, donde el emirato de Granada, el último bastión del dominio islámico, se mantuvo durante otros 250 años después de que el resto de la península Ibérica hubiera sido recuperada por la Reconquista cristiana. Mientras que el reino de Portugal, que ocupa el terreno más llano del lado occidental de la península, había afianzado su territorio a mediados del siglo XIII y pudo así invertir sus energías en la exploración marítima, España siguió pendiente de sus propias reconquistas, más exigentes, hasta el final mismo del siglo XV.

(75) Su nombre procede de la palabra en latín que significa «islas de los perros», aunque esta descripción quizá aludiese a las grandes focas que antaño se amontonaban en las playas del archipiélago. A su vez, los canarios son pájaros canoros que recibieron este nombre por las islas de las que son autóctonos.

(76) Las islas volcánicas aisladas han desempeñado un papel importante en la historia al poseer valor estratégico como motas de tierra dentro de la gran extensión del océano. Santa Elena, en el Atlántico Sur, es otra isla volcánica nacida de la dorsal mesoatlántica y una de las más remotas del mundo. Se convirtió en un lugar de paso vital para los buques de la Compañía de las Indias Orientales que retornaban de India y China, y fue allí donde los británicos recluyeron a Napoleón después de su derrota final en la batalla de Waterloo. En la historia moderna, la cadena volcánica del archipiélago de Hawái, situado en medio del océano Pacífico, fue de gran importancia estratégica para Estados Unidos, que estableció allí aeródromos y bases navales. Cuando los japoneses atacaron a los buques amarrados en Pearl Harbor, en la laguna de la isla de Oahu, en diciembre de 1941, el incidente provocó que Estados Unidos entrara en la Segunda Guerra Mundial. Las incursiones de bombardeo que salían de Midway, una de las islas más noroccidentales de la larga cadena hawaiana, castigaron seis meses después a la flota japonesa y demostraron ser decisivas para el cambio de tendencia de la guerra en el Pacífico.

(77) La mayoría de las corrientes de aire son invisibles, pero en este caso los vientos pueden verse claramente desde el espacio, al ir cargados del polvo levantado en el desierto del Sáhara. El aire cargado de polvo tarda alrededor de una semana en cruzar el Atlántico, y después las partículas caen para fertilizar los ricos suelos de la pluviselva amazónica.

(78) El término en español, derivado del francés, alusivo a perder el rumbo es «desorientarse»: haber perdido la dirección del oriente, del este, desde donde sale el sol.

(79) Al rey Juan II lo agraciaba su gran rival, la reina Isabel de Castilla (que más tarde unificaría España), con el que quizá fuera el mayor elogio de la historia. Isabel la Católica se refería a él solo como el Hombre,[20] un apodo mejor incluso que el de Bruce Springsteen...

(80) De esta manera, Colón tardó solo alrededor de un mes en cruzar el océano que había tardado más de 100 millones de años en abrirse como

consecuencia de la tectónica de placas.

(81) También descubrió las hamacas que usaban los nativos de las Antillas, lo que cambiaría durante siglos la manera en que los marineros europeos dormían a bordo.

(82) El nombre en inglés de estos vientos, *trade winds*, no deriva, sorprendentemente, de *trade* en el sentido de «comercio». De hecho, el término obedece a un uso diferente en el siglo XVI: un viento que soplaba *trade* lo hacía en una dirección constante. Así, los vientos alisios son constantes, y resultaron ser utilísimos para la exploración y el comercio.

(83) «Day after day, day after day, / We stuck, nor breath nor motion; / As idle as a painted ship / Upon a painted ocean. / Water, water, every where, / And all the boards did shrink; / Water, water, every where, / Nor any drop to drink.» *(N. del T.)*

(84) En estos enormes giros rotatorios del océano, la dinámica de fluidos hace que los materiales de superficie se acerquen al centro del giro. El mar de los Sargazos se encuentra en medio del giro del Atlántico Norte (es la única región en pleno océano que es clasificada como mar) y forma una mancha de mil por tres mil kilómetros de aguas distintivamente claras y azules que está llena de algas marinas. El mismo proceso de encauzamiento ha concentrado en época reciente grandes cantidades de plásticos flotantes, que han recibido el nombre de mancha de Basura del Atlántico Norte; una concentración similar de desechos se encuentra en el vórtice de Basura del Pacífico.

(85) Fue durante estos primeros viajes a larga distancia efectuados por portugueses cuando el escorbuto empezó a afectar con frecuencia a los marineros. Esta enfermedad no era desconocida en la época; hacía acto de presencia durante épocas de hambruna o entre las tropas de ejércitos con dietas desequilibradas desde el punto de vista nutricional. Pero fue a los marineros que viajaban durante meses por mar a los que la enfermedad empezó a afectar con gran regularidad, incluso de manera inevitable. Hoy en día sabemos que el

escorbuto es fruto de una deficiencia vitamínica. La vitamina C, o ácido ascórbico, es un ingrediente vital en la producción de colágeno por parte del cuerpo, para el tejido conjuntivo. Al cabo de un mes, aproximadamente, de ingerir una dieta que no contenga suficiente vitamina C, los síntomas empeoran de forma progresiva; estos van desde encías sangrantes y dolor de huesos hasta heridas que tardan más en sanar, la pérdida de dientes y, finalmente, convulsiones y la muerte. Es curioso que los seres humanos sean una de las pocas especies animales que padecen escorbuto (otra es la cobaya). Resulta que en algún punto de nuestra divergencia evolutiva respecto de otras especies de primates experimentamos una mutación en una única letra del código genético que eliminó el enzima clave para producir ácido ascórbico en nuestras células hepáticas. El escorbuto fue la principal causa de defunción entre los marineros en viajes prolongados hasta finales del siglo XVIII, cuando se descubrió que los cítricos pueden evitar la enfermedad.[33]

(86) La primera flota que siguió la ruta de Da Gama hacia India hizo una *volta do mar* tan amplia a través del Atlántico Sur al alejarse de África que descubrió Brasil.[37]

(87) Cuando los cingaleses se toparon por primera vez con los portugueses y su extraña comida y bebida, informaron de que «comen una especie de piedra blanda y beben sangre». Era la primera vez que veían pan y vino.[38]

(88) Las dos grandes potencias marítimas de la época habían firmado un tratado en 1494 para dividir el mundo entre un Oriente portugués y un Occidente español. La división, conocida como la línea de Tordesillas, recorría el Atlántico de norte a sur a 370 leguas (algo más de 2.000 kilómetros) al oeste de las islas de Cabo Verde. No era más que una línea en un mapa que cruzaba las uniformes vastedades del océano; una pura abstracción cartográfica. Cuando los marinos portugueses de camino a India descubrieron la costa de Sudamérica, se dieron cuenta de que estaba situada a su lado de la demarcación, y por ello la reclamaron; esta es la razón por la que en Brasil se habla portugués y en el resto

de América Latina, español. El problema que surgió en la década de 1520 fue lo que ocurrió en el otro extremo del planeta. Si la línea de Tordesillas se extiende en un círculo directamente a través de los polos y del océano Pacífico (opuesto 180º a la partición del Atlántico), ¿se encuentran las Molucas en el ámbito español o en el portugués? En este caso, la disputa se resolvió cuando España, que necesitaba urgentemente dinero contante y sonante para financiar la guerra que libraba contra Francia, vendió a Portugal su derecho sobre las Molucas.[44]

(89) Potosí, conocido también como Cerro Rico, es el centro de un volcán erosionado[49] formado hace unos 13 millones de años. La actividad volcánica impulsó un sistema hidrotermal subterráneo que drenó plata —así como estaño y cinc— de rocas más profundas y después los depositó de nuevo en filones muy ricos y gruesos,[50] entreverados en el corazón de la montaña. Es la mayor mina de plata de la historia, y durante más de cien años supuso aproximadamente la mitad de la producción mundial.[51]

(90) Un problema importante durante prácticamente toda la era de la navegación a vela fue que a los capitanes de los barcos les costaba mucho determinar su posición exacta en mar abierto. La astronomía puede indicarnos con facilidad la latitud (solo se necesita medir el ángulo entre el horizonte y ciertas estrellas), pero antes de la invención de relojes precisos era casi imposible deducir la longitud correcta. Los buques que navegaban rápidamente hacia Oriente a lo largo de los Rugientes Cuarenta tenían que saber cuál era el momento adecuado para virar al nordeste y continuar en dirección norte, hacia Indonesia. Si esperaban demasiado se estrellaban contra Australia; la costa occidental del continente, plagada de corales, está sembrada de pecios de barcos que no viraron a tiempo.[57]

(91) Los portugueses habían empezado a importar esclavos africanos para las plantaciones de azúcar de Madeira y las islas de Cabo Verde a finales del siglo XV, y a partir de la década de 1530 los transportaron a través del Atlántico hasta sus colonias en Brasil.[59] Muy pronto, otras naciones europeas de tradición

marinera se vieron implicadas en el tráfico humano del llamado «Pasaje del Atlántico Central».[60]

(92) Y en la actualidad no somos consumidores más responsables, pues compramos afanosamente el último dispositivo electrónico de pantalla táctil o la camiseta barata de moda, conscientes en el fondo de nuestra mente de las espantosas condiciones que muchos trabajadores de las fábricas del mundo en vías de desarrollo se ven obligados a soportar.

(93) Muchas de las especies arbóreas de Europa septentrional, entre ellas el aliso, el fresno, el haya, el roble, el sicómoro y el sauce, pueden rebrotar a partir de un tallo quebrado, y es esta capacidad natural lo que las hace adecuadas para este tipo de técnica. Sin embargo, dicha capacidad quizá fuese una respuesta evolutiva al daño producido por el ramoneo de los elefantes y otra megafauna, el tipo de animales enormes que deambulaban incluso por las latitudes septentrionales en los periodos interglaciares más cálidos, tal como hemos visto en las páginas 43 y 44.[1]

(94) Aunque esta cifra era verdaderamente impresionante para su época, se queda en apenas nada al lado de las prodigiosas cantidades de energía que hemos aprendido a reunir en la actualidad; toda la de este complejo hidráulico queda superada por el rendimiento energético del motor de un solo turismo actual.

(95) «Orogenia» es un término geológico que alude a la construcción de una cordillera a partir de la subducción o la colisión de placas tectónicas, aunque, de forma decepcionante, el adjetivo correspondiente es «orogénico», no «orógeno».

(96) La orogenia creó también las intrusiones de granito de Cornualles, que, como hemos visto, acabaron suministrando estaño para la elaboración de bronce y arcilla de caolinita para la confección de porcelana.

(97) El 21 de abril de 2017, Gran Bretaña pasó todo un día sin utilizar carbón para generar electricidad por primera vez desde la década de 1880.[26]

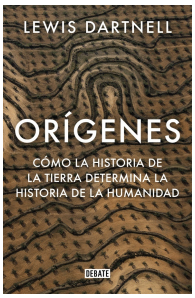
(98) La correlación entre el Partido Laborista y los yacimientos de carbón es menos clara en Escocia a raíz del auge de otro gran partido de izquierdas, el Partido Nacional Escocés.

(99) En la actualidad se dan condiciones anóxicas similares en el fondo marino de determinadas zonas, como el lecho del mar Negro o la región de afloramiento frente a la costa de Perú,[38] pero durante el Cretácico dichas áreas se hallaban extendidas por todo el mundo.

(100) Hemos visto en el capítulo 6 como el Gran Evento de Oxidación creó los minerales de hierro que hemos extraído en el transcurso de la historia, pero también limpió la atmósfera de metano, un gas de efecto invernadero, lo que desencadenó una Tierra bola de nieve.

(101) La concentración de dióxido de carbono atmosférico no volverá de manera natural a los niveles preindustriales antes de varias decenas de miles de años. Se espera que los ritmos superpuestos de los ciclos de Milankovitch devuelvan el clima de la Tierra a la glaciación dentro de unos 50.000 años, pero el fuerte empujón que ya hemos dado a la atmósfera evitará, casi con toda seguridad, esta próxima edad de hielo programada. De modo que, desde una perspectiva humana, un aspecto positivo del calentamiento global actual podría ser que nuestra civilización será más capaz de adaptarse a la larga a los extremos de un mundo más cálido que de hacer frente a los casquetes de hielo de un kilómetro de espesor que opriman el hemisferio norte y a un clima rigurosamente frío y seco que imposibilite la agricultura generalizada.[47]

¿Por qué? ¿Pero por qué? ¿Y por qué?
La historia humana como nunca antes te la habían contado.



Cuando se habla de algo tan inabarcable como la historia de la humanidad solemos poner el foco en cosas muy concretas. Nos gusta enumerar los líderes que marcaron la diferencia, señalar ciertos fenómenos como la migración o describir las consecuencias de las guerras más decisivas.

Pero, ¿qué pasaría si cambiáramos el enfoque y pusiéramos a la Tierra en el centro de nuestras averiguaciones?

Este libro es lo que pasaría.

Para Lewis Dartnell la única manera de comprender nuestra historia consiste en explicar cómo nuestro planeta, desde el inicio de los tiempos, ha determinado nuestro destino. Toda especie está condicionada por su entorno. Es algo ineludible: las fuerzas geológicas ocasionaron nuestra evolución en África oriental; los terrenos montañosos característicos de Grecia favorecieron el nacimiento de la democracia en las antiguas polis, y el Himalaya guarda una relación con la formación de las islas Británicas que muchos ignoramos. La historia de estas fuerzas es, en definitiva, la historia de la humanidad.

Reseñas:

«*Orígenes* es uno de esos escasos libros que saben resolver los misterios con el simple y sublime uso de la lucidez. Dartnell entiende de geología, geografía,

antropología, física, química, biología, astronomía e historia; un logro en sí mismo. Pero lo que le hace realmente especial es la forma en la que enlaza estas disciplinas de manera clara, lógica y entretenida. [...] Un libro excelente.»
The Times

«Una historia sublime y bien encadenada. La curiosidad y entusiasmo de Dartnell son contagiosos y arrastran al lector de una página a otra, sintetizando geología, oceanografía, meteorología, geografía, paleontología, arqueología e historia política de una manera que recuerda al clásico libro de Jared Diamond Armas, gérmenes y acero.»
Nature

«Dartnell es un excelente guía para recorrer los desalentadores eones de nuestro tiempo. Nunca la historia geológica ha parecido tan necesaria.»
The Guardian

«Una tesis grandiosa y apasionante impulsada por el placer que producen los pequeños detalles. Esta sensacional visión de cómo la geografía nos dio forma puede tranquilamente compararse con el Sapiens de Harari.»
The Sunday Times

Sobre el autor

Lewis Dartnell estudió biología en Oxford y se doctoró en el University College de Londres. Ha recibido numerosas distinciones por su labor como divulgador científico y colabora con *The Guardian*, *The Times* y *The New Scientist*. Es incansable en su labor como impulsor de la ciencia y ha protagonizado numerosas apariciones en programas televisivos del Canal Historia y del National Geographic, entre otros. De sus libros anteriores, cabe destacar el best seller *Abrir en caso de apocalipsis* (Debate, 2015). En la actualidad trabaja como investigador y profesor de astrobiología en la Universidad de Westminster.

Título original: *Origins. How the Earth Made Us*

Edición en formato digital: mayo de 2019

© 2019, Lewis Dartnell
© 2019, Penguin Random House Grupo Editorial, S. A. U.
Travessera de Gràcia, 47-49. 08021 Barcelona
© Joandomènec Ros i Aragonès, por la traducción

Diseño de la cubierta: Penguin Random House Grupo Editorial, a partir del diseño original de Penguin Random House UK
Fotografía de la cubierta: © Getty Images

Penguin Random House Grupo Editorial apoya la protección del *copyright*. El *copyright* estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Gracias por comprar una edición autorizada de este libro y por respetar las leyes del *copyright* al no reproducir ni distribuir ninguna parte de esta obra por ningún medio sin permiso. Al hacerlo está respaldando a los autores y permitiendo que PRHGE continúe publicando libros para todos los lectores. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, http://www.cedro.org) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.

ISBN: 978-84-9992-964-4

Composición digital: M.I. Maquetación, S.L.

www.megustaleer.com

Penguin Random House Grupo Editorial

megustaleer

Descubre tu próxima lectura

Apúntate y recibirás recomendaciones de lecturas personalizadas.

Visita:
ebooks.megustaleer.club

@megustaleerebooks

@megustaleer

@megustaleer

Índice

Orígenes

Introducción
1. La creación de nosotros
2. Derivadores continentales
3. Nuestro regalo biológico
4. La geografía de los mares
5. Con qué construimos
6. Nuestro mundo metálico
7. Rutas de la Seda y pueblos de las estepas
8. La máquina global del viento y la era de los descubrimientos
9. Energía
Coda
Bibliografía
Agradecimientos
Créditos de las figuras
Índice alfabético
Notas

Sobre este libro
Sobre el autor
Créditos