



SAL

**ED
CONWAY**



ARENA

MATERIAL WORLD



HIERRO



COBRE

**CONSTRUYERON
EL MUNDO**

**TRANSFORMARÁN
EL FUTURO**



PETRÓLEO



LITIO

PENÍNSULA

Material World

Arena, sal, hierro, cobre, petróleo y litio.
Construyeron el mundo. Transformarán el futuro

Ed Conway

Traducción de Marc Jiménez Buzzi

Título original: *Material World. A Substantial Story of our Past and our Future*

© Ed Conway, 2023

Publicado por primera vez como *Material World* en 2023 por W. H. Allen, un sello de Ebury que forma parte del grupo de empresas Penguin Random House.

La lectura abre horizontes, iguala oportunidades y construye una sociedad mejor. La propiedad intelectual es clave en la creación de contenidos culturales porque sostiene el ecosistema de quienes escriben y de nuestras librerías. Al comprar este libro estarás contribuyendo a mantener dicho ecosistema vivo y en crecimiento.

En **Grupo Planeta** agradecemos que nos ayudes a apoyar así la autonomía creativa de autoras y autores para que puedan seguir desempeñando su labor.

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

Primera edición: septiembre de 2024

© de la traducción del inglés, Marc Jiménez Buzzi, 2024

© de esta edición: Edicions 62, S.A., 2024

Ediciones Península,
Diagonal 662-664
08034 Barcelona
edicionespeninsula@planeta.es
www.edicionespeninsula.com

REALIZACIÓN PLANETA - fotocomposición
Impresión y encuadernación: Black Print
Depósito legal: B. 12.112-2024
ISBN: 978-84-1100-283-7

Printed in Spain - Impreso en España



Índice

Introducción	II
--------------	----

PRIMERA PARTE ARENA

1. <i>Homo Faber</i>	37
2. Construido sobre arena	75
3. El viaje más largo	101

SEGUNDA PARTE SAL

4. Rutas de la sal	141
5. La sal de la Tierra	160
6. La droga del fuego	181
Posdata: Muchas sales	196

TERCERA PARTE
HIERRO

7. No tienes país	215
8. Dentro del volcán	236
9. La última explosión	256

CUARTA PARTE
COBRE

10. La siguiente cosa más grande	277
11. El agujero	292
12. Las profundidades	318

QUINTA PARTE
PETRÓLEO

13. El elefante	339
14. Tuberías	359
15. Lo que está en todas las cosas	377
Posdata: El pico del petróleo	396

SEXTA PARTE
LITIO

16. El oro blanco	407
17. Rollos de gelatina	434
18. Desfabricación	451
Conclusión	465
Agradecimientos	487
Notas	491
Bibliografía	513

Homo Faber

Esta historia comienza con una explosión.

Una explosión de tal magnitud que habría sido audible en dos, tal vez tres continentes. No es que hubiera nadie cerca para oírla. Porque esto ocurrió hace unos 29 millones de años —mucho antes del nacimiento del *Homo sapiens*—, en algún lugar cerca de la actual frontera entre Egipto y Libia.

Allí, en el desierto del Gran Mar de Arena, un meteorito surcó el cielo y explotó. La fuerza de la explosión fue realmente cataclísmica, lo suficiente para crear una bola de fuego y un ruido que estremeció a los simios y a los felinos de dientes como sables que deambulaban al otro lado del Mediterráneo.

Este impacto de meteorito es menos conocido que el que se cree que causó la extinción de los dinosaurios hace 60 millones de años. Por lo que sabemos, no causó grandes extinciones. Los científicos no se ponen de acuerdo sobre si el meteorito explotó en el aire o al impactar contra el suelo, y la búsqueda de un cráter plausible todavía está en marcha. Sin embargo, el meteorito africano tiene un significado especial, ya que proporciona la explicación más convincente para una historia de misterio que ha desconcertado a arqueólogos y geólogos durante un siglo.

Entre los tesoros descubiertos con el sarcófago de Tutankamón había un collar que representaba al dios del sol Ra.

Era una pieza de joyería asombrosa, más sutil pero no menos seductora que la icónica máscara funeraria de oro del niño-rey egipcio. Este pectoral, como a veces se le llama, estaba incrustado de gemas y metales preciosos: oro, plata, lapislázuli, turquesa y cornalina, pero en el centro había un escarabajo tallado en una piedra translúcida de color amarillo canario. Todas las demás gemas eran conocidas, pero cuando se descubrió la tumba, a principios del siglo xx, nadie había visto nada parecido a este material amarillo. ¿Por qué? ¿Qué era? ¿Y de dónde procedía? Solo cuando los exploradores se adentraron en el desierto empezaron a encontrar respuestas.

El Gran Mar de Arena fue bautizado así por Gerhard Rohlfs, un explorador alemán que en 1873 dirigió una expedición hacia el oeste, en lo que en tiempos faraónicos se llamaba la Tierra de los Muertos. Unos cientos de kilómetros después de abandonar el oasis de Dakhla, tras semanas sin ver ningún rastro de vida humana, se encontró de repente con una barrera infranqueable.

«Dunas de arena, y arena más allá, un verdadero océano de arena», escribió. Intentó cruzar las dunas: imposible, demasiado altas, la arena demasiado suelta bajo los pies, incluso para los camellos. Intentó rodearlas: imposible, porque se extendían de norte a sur hasta donde alcanzaba la vista. Llevó a su equipo a lo largo de las dunas durante semanas, en vano. Finalmente, decidió volver hacia el norte, hacia Siwa, el oasis más cercano. Él y su equipo escribieron un mensaje, lo metieron en una botella por si no sobrevivían al viaje de vuelta y construyeron un mojón de rocas sobre él. Si viaja al Gran Mar de Arena y pasa por delante del mojón, hoy es costumbre dejar su propio mensaje en una botella.

Rohlfs sobrevivió a duras penas al viaje de vuelta. De hecho, seguramente habría perecido de no ser por un extraordinario golpe de suerte. Cuando regresaba por una de las regiones más áridas del mundo, donde puede no llover durante

décadas, el cielo se abrió inesperadamente y su tripulación pudo reabastecer sus reservas de agua. Semanas más tarde, este afortunado y demacrado alemán y sus compañeros se pusieron a salvo. Trajeron consigo un testimonio tan desolador que nadie más se molestó en intentar el viaje durante más de cincuenta años.

Si echamos un vistazo a las imágenes por satélite de este territorio, enseguida veremos lo que se encontró: largas dunas paralelas que discurren de norte a sur, separadas por corredores llanos y rectos como una calzada romana. Estas formaciones perpendiculares, producto de los vientos dominantes, se denominan dunas *seif* —por la palabra árabe que significa ‘espada’— y algunas se extienden a lo largo de más de 150 kilómetros. Presentan una uniformidad, una especie de simetría. Salvo que cuando se ven las imágenes, ya están desfasadas.

Las dunas están en constante movimiento y devoran todo lo que se interpone en su camino. Heródoto escribió una vez sobre un príncipe persa que envió un ejército a este desierto. Poco después de entrar en el Gran Mar de Arena, fueron engullidos por una tormenta de arena y nunca más se los volvió a ver. De vez en cuando aparece algún arqueólogo con supuestas pruebas del ejército perdido.

Sin embargo, observar estas dunas desde arriba no transmite la sensación de estar a sus pies. No en vano, la mayoría de los primeros exploradores describieron estas formaciones como criaturas vivas.

«Crecen —escribió Ralph Bagnold, un británico que exploró el Sáhara en la década de 1930—. Algunas [...] pueden vivir de forma independiente, mantener su forma mientras se desplazan de un lugar a otro e incluso reproducirse.»¹

A veces, la arena de las dunas *seif* se precipita por la escarpadura y crea dunas en forma de medialuna, los llamados barjanes. A veces una *seif* puede montar a otra, y juntas conforman un «lomo de ballena», o megabarján.

La manera en que estos granos de arena interactúan entre sí, con el viento y con su entorno parece misteriosa e impredecible, pero lo que ocurre es que la física de la arena es increíblemente compleja. Tras toparse con estas dunas al atravesar los desiertos, Bagnold dedicó el resto de su vida a intentar comprenderlas.

Cualquiera que estudie las dunas de arena trabaja bajo la alargada sombra de Bagnold. Su influencia fue tal que, cuando la NASA intentó comprender las dunas de Marte, recurrió a los libros de Bagnold. De hecho, si siguió la misión del rover *Curiosity*, recordará que se pasó dos años explorando las «dunas de Bagnold» en Marte.

Bagnold y un grupo de exploradores fueron los primeros en atravesar este desierto a principios de los años treinta, terminando el viaje que Rohlfs no había podido completar medio siglo antes. Recorrieron las dunas *seif* en vehículos a motor, soltando el aire de los neumáticos de sus Ford modelo A para surfear la arena suelta de las dunas. Uno de los colegas de Bagnold, un irlandés llamado Pat Clayton, estaba cruzando el borde de una de esas dunas en diciembre de 1932 cuando de repente oyó un crujido bajo sus ruedas. Salió a investigar y descubrió que el desierto estaba cubierto de grandes láminas de cristal amarillo.

No fue hasta finales de los años noventa cuando los científicos confirmaron que el escarabajo amarillo canario del centro del collar de Tutankamón estaba tallado en el mismo material que Pat Clayton había triturado a 800 kilómetros de distancia, en el Gran Mar de Arena. El niño-rey egipcio fue enterrado en el Valle de los Dioses con una piedra preciosa arrancada de la Tierra de los Muertos. Esta piedra luminosa no fue forjada como los diamantes, zafiros y otras gemas similares a lo largo de miles de años de calor y presión en el interior de la corteza terrestre. Fue creada en un abrir y cerrar de ojos por la caída de una estrella. Ese meteorito, hace 29 millones de años, convir-

tió la arena en una especie de vidrio: el vidrio del desierto de Libia.

Existen otras formas de vidrio en la naturaleza. La obsidiana, una piedra de color negro azabache utilizada como herramienta por nuestros antepasados prehistóricos, es en realidad una suerte de vidrio volcánico formado por el magma al enfriarse rápidamente y convertirse en piedra. Hay tectitas: guijarros vidriosos creados por meteoritos o cometas al chocar contra la superficie de la Tierra y que luego se funden en piedras brillantes. Hay fulguritas: tubos huecos y nudosos que a veces se encuentran en una playa o una duna tras la caída de un rayo. Pero lo que distingue al vidrio que Clayton encontró en el desierto es su pureza absoluta, casi increíble.

El principal ingrediente de la mayoría de las arenas es la sílice, dióxido de silicio o, como se le llama a veces, cuarzo. Y como el vidrio es, a falta de una expresión mejor, arena fundida, la sílice es también el ingrediente principal del vidrio. Pero el contenido de sílice puede variar considerablemente. Los vasos de los que bebemos o que adornan los alféizares de nuestras ventanas suelen tener un 70% de sílice. El contenido de sílice de la obsidiana y de la mayoría de las tectitas suele oscilar entre el 65 y el 80%. En cambio, el contenido de sílice del vidrio del desierto libio es de un asombroso 98%. Esto no solo lo convierte en el vidrio natural más puro que se haya descubierto nunca en cualquier lugar, sino que es más puro que cualquier cosa que la humanidad pueda crear, al menos de momento.²

La arena es el gran enigma del mundo material.

No hay escasez de este material. Si se abre paso hasta la cima de las dunas y mira hacia el Gran Mar de Arena, solo verá una vista interminable de silicio. Silicio en los granos bajo sus pies, silicio en los suelos de los corredores que sepa-

ran las *seifs*, silicio en las areniscas paleozoicas del Gilf Kebir en el horizonte. Después del oxígeno, que se adhiere a casi todo lo demás, el silicio es con mucho el elemento más común en la corteza terrestre.

Dada su ubicuidad, seguramente no sea de extrañar que hayamos encontrado tantas cosas distintas que hacer con ella. Excavamos, extraemos y hacemos estallar más arena de la tierra que cualquier otro material. Sin embargo, el enigma económico de la arena es que, en ciertas formas, es muy valiosa, tanto que la Unión Europea considera sus formas más puras y elementales una materia prima fundamental.

La tierra está hecha de arena, pero a menudo oímos historias de escasez desesperada. En algunos rincones del mundo hay mafias de la arena que luchan y matan por el control de los granos de silicio. Al amparo de la noche, cuadrillas de renegados excavan playas y cauces de ríos y trafican y comercian con la arena en el mercado negro.

Algunas arenas son apreciadas por su valor, otras por su belleza, otras por la forma de sus granos, otras por su pureza. En Cerdeña, las autoridades han empezado a multar a la gente por retirar la emblemática arena blanca de sus playas. En la playa Cleopatra, una bahía situada en una isla de la costa turca de Anatolia, la arena blanquísima es tan preciada que hay que quitársela de los pies antes de salir para no llevarse ni un solo grano. En algunas partes de Asia, los ecosistemas fluviales están amenazados por el dragado excesivo que realizan los mineros de arena del mercado gris para satisfacer un apetito aparentemente interminable de arena y agregados para la construcción. Se han arruinado vidas y se ha amenazado el medio ambiente, y todo por conseguir algo que parece estar en todas partes.

Aunque decir que está en todas partes no es exacto, porque hay muchos tipos distintos de arena, cada uno con sus características únicas. Si bien la mayoría de las arenas son

principalmente de sílice, algunas, sobre todo las blancas de las playas tropicales, se componen principalmente de otra cosa: restos de conchas marinas y corales. De hecho, si se encuentra en una playa virgen del Caribe o Hawái, lo más probable es que hunda los pies en excrementos de peces loro: los peces se comen los corales, extraen los nutrientes y cagan el carbonato cálcico restante en el lecho marino. En general, cuanto más blanca y cálida sea la playa, más probabilidades hay de que haya salido del fondo de un pez loro.

La cuestión de la composición de la arena no es un asunto baladí. Los geólogos tienen una escala granulométrica (la escala de Udden-Wentworth), que establece que cualquier grano sólido y suelto de un tamaño determinado (en sentido estricto, entre 0,0625 y 2 mm) es un tipo de arena. Paradójicamente, esto significa que el azúcar y la sal son en realidad arena. Pero, por nuestro bien, ignoremos la escala Udden-Wentworth y centrémonos sobre todo en el 70 % de arenas que están compuestas mayoritariamente de sílice.

El contenido de sílice de la arena es importante porque, en última instancia, determina lo que se puede hacer con ella. Algunas arenas, como las del Gran Mar de Arena, son relativamente ricas en sílice, lo que explica en parte la pureza del vidrio del desierto libio. Pero gran parte de la arena que pisamos usted y yo tiene muy poco sílice y demasiadas impurezas para que pueda convertirse en vidrio transparente o, si vamos al caso, en chips de silicio. Aun así, parte de lo que hace que la arena sea tan enigmática es que, en su estado natural, no hay dos puñados iguales.

El silicio también es un enigma químico: metálico, pero no del todo; conductor, pero solo bajo sus propias condiciones. Puede convertirse en un polímero, un plástico. La arena puede ser muy suave al tacto, pero cada grano es muy duro, y su asombrosa resistencia ayuda a explicar por qué se utiliza para los cimientos físicos del mundo del siglo XXI. Es a la vez

la base de los productos más antiguos y de los más nuevos que la humanidad ha aprendido a fabricar. Enmarca la civilización.

Así pues, la arena es la materia más antigua y a la vez más moderna de todas. Fue la transformación del silicio en cuentas, tazas y joyas lo que marcó el comienzo de la era del *Homo faber*, el hombre fabricante. Sin embargo, esta misma materia puede utilizarse para crear los *smartphones* y las armas inteligentes del siglo XXI.

Aquí, en la playa y en el desierto, tenemos a nuestro primer protagonista. Durante mucho tiempo, los químicos buscaron la clave de la alquimia: cómo convertir el plomo y otros metales poco prometedores en oro. La búsqueda fracasó, o al menos eso dice la sabiduría convencional. Pero espere. Hoy en día convertimos el silicio en productos que valen literalmente su peso en oro. Forjamos productos maravillosos a partir de arena dorada.

Dado que hemos aprendido a transformar una materia barata e inerte en algo tan valioso, quizá no deba sorprendernos que estas habilidades hayan llegado a ser tan apreciadas. Cuando han estallado guerras comerciales, en el centro de ellas ha estado a menudo la arena. La capacidad de China para fabricar sus propios chips de silicio con el mismo grado de complejidad que los de Taiwán y Corea del Sur es una preocupación frecuente en Washington hoy en día: ¿desarrollará ordenadores cuánticos más rápido y con más éxito que Estados Unidos?

Dado que Pekín ha superado a sus rivales en tantos otros campos económicos en los últimos años, la supremacía china del silicio podría parecer inevitable, pero, por lo menos en el momento de escribir estas líneas, aún no nos hemos acercado siquiera a esa situación. China puede dominar en ámbitos como la siderurgia, la construcción, la fabricación de baterías y teléfonos inteligentes, e incluso, últimamente, las redes so-

ciales, pero ¿una industria de semiconductores líder en el mundo? Todavía no.

¿Por qué? Por una parte, porque el proceso de convertir arena en chips de silicio es, como veremos más adelante, una de las hazañas más extraordinarias de la ingeniería. De hecho, muchas de las técnicas empleadas para crear transistores tan pequeños que se miden en átomos parecen tan descabelladas que incluso a alguien con una imaginación hiperactiva le costaría concebirlas. Por otra, porque los dirigentes occidentales no se detendrán ante nada para impedir que China adquiriera la supremacía en esta tecnología. Están decididos a impedir que se les escape la propiedad intelectual, las herramientas de la alquimia del siglo XXI. Sin embargo, por muy contemporáneo que todo esto parezca, la arena siempre ha estado en el corazón de la tecnología punta, mucho antes de la era de los chips de silicio.

Durante siglos, los Gobiernos compitieron entre sí por controlar otra tecnología punta derivada de la arena, una tecnología que dotaba de poderes biónicos a quienes la utilizaban. Esa tecnología era el vidrio. Al igual que los Gobiernos de hoy intentan desarrollar sus sectores de semiconductores y de coches eléctricos, sus predecesores tocaron todas las teclas posibles, desde la estrategia hasta la treta industrial, para controlar el comercio del vidrio. De la misma manera que hoy se impide a los científicos pasar de contrabando sus secretos de Occidente a Asia, algo parecido les ocurrió a los artesanos de Murano, los primeros en aprender a fabricar un vidrio verdaderamente transparente, fino y bello. Se les amenazó con la muerte si intentaban abandonar la isla de la laguna veneciana.

Cuando descubrió cómo crear un hermoso vidrio cristallino con la ayuda de artesanos sacados de Murano, el vidriero inglés George Ravenscroft y sus trabajadores se negaron a divulgar el ingrediente secreto (lo que en aquel momento tenía sentido desde el punto de vista comercial, pero que ahora

parece una irresponsabilidad, dado que su ingrediente secreto era el plomo, un metal tóxico que puede filtrarse en las bebidas almacenadas en una jarra de cristal). Durante las guerras napoleónicas, Gran Bretaña intentó privar a Francia de cristal. En los primeros tiempos de Estados Unidos, un gobierno resuelto a proteger la industria nacional mediante reglamentos e impuestos prohibió a los vidrieros ingleses emigrar a ese país. A menudo recordamos la frustración de los primeros colonos estadounidenses con los impuestos sobre el té, pero somos mucho menos conscientes de la que les causaron los impuestos británicos sobre el vidrio.

Así que no, no hay nada nuevo en la guerra tecnológica por el silicio. Es una guerra que se ha librado durante siglos, entre diferentes superpotencias a través de muchos frentes y muchos continentes. Es una guerra que se ha desarrollado en todo tipo de lugares inesperados, incluidos rincones olvidados de tierras tranquilas, a cientos de kilómetros de la línea del frente.

VIDRIO

Cuando analizan el desarrollo de la humanidad, los economistas tienden a mirar con lupa. ¿Por qué se produjo la Revolución industrial en un determinado momento y lugar, es decir, en la Europa de los siglos XVIII y XIX? Hay muchas teorías: sobre el papel de las instituciones políticas, las costumbres sociales y educativas o la geografía. A veces surgen una o dos innovaciones cruciales: la máquina de vapor o el alto horno, por ejemplo. Pero si se plantea que el vidrio pudo desempeñar un papel importante, la respuesta suele ser una mirada de asombro.

Sin embargo, las lentes de cristal nos permitieron mirar al espacio y ayudaron a los primeros astrónomos, como Galileo,

a descubrir que la Tierra orbitaba alrededor del Sol. Ayudaron a aumentar el poder económico de los países al permitir que la gente trabajara más; hasta la invención de las lentes, quienes perdían la vista tenían que jubilarse anticipadamente, pero gracias a las lentes biconvexas de las gafas, millones de personas pudieron prolongar su vida laboral. Nadie duda de la importancia de tecnologías revolucionarias como la imprenta. Pero ¿qué decir del hecho de que su aparición coincidiera con un mercado masivo de las gafas que permitían leer a una parte importante de la población alfabetizada?

Las lentes y los prismas de cristal permitieron a científicos como Robert Hooke y Antonie van Leeuwenhoek crear los primeros microscopios del mundo y asomarse a un mundo que ningún ser humano había visto antes. Gracias a estas herramientas de cristal llegamos a conocer la existencia de las bacterias y la reproducción celular. Los invernaderos de cristal permitieron a los horticultores europeos adaptar el clima a su voluntad.

Gracias a la aparición de los espejos de cristal —antes se dependía sobre todo de las superficies de metal pulido, que apenas reflejaban una quinta parte de la luz—, los artistas del Renacimiento pudieron ver el mundo desde una perspectiva distinta. Los relatos de los primeros maestros, como Leonardo da Vinci, no dejan lugar a dudas sobre el papel que desempeñaba este nuevo material. El espejo, escribió Leonardo, era el «maestro de los pintores», que lo utilizaban como herramienta de referencia a la hora de pintar objetos. De hecho, hay una corriente de pensamiento, cuya formulación más famosa se debe al pintor David Hockney, según la cual muchas de las obras de los maestros antiguos solo pudieron realizarse gracias a la ayuda de medios ópticos, como lentes y espejos curvos.³

¿Es una coincidencia que el Renacimiento se diera en los mismos lugares en los que de repente había espejos asequibles

y eficaces, ya fuera en el norte de Italia o en Holanda? ¿Es una coincidencia que los países que adoptaron la fabricación de vidrio fueran los mismos en los que se asentaron la Ilustración y luego la Revolución industrial, mientras que las regiones que abandonaron esa artesanía, como China y gran parte de Oriente Próximo, sufrieron una decadencia económica en los siglos siguientes? Hace unos años, dos historiadores, Alan Macfarlane y Gerry Martin, repasaron metódicamente veinte de los grandes experimentos que hicieron avanzar el conocimiento humano —desde la creación de una cámara de vacío por Robert Boyle y Robert Hooke hasta la teoría de la luz de Isaac Newton, pasando por las investigaciones sobre la electricidad de Michael Faraday— y descubrieron que todos ellos, salvo cuatro, se basaban de algún modo en prismas, recipientes o artilugios de vidrio.⁴

Dicho de otro modo, el vidrio fue una innovación fundacional, una tecnología de uso general como la rueda, la máquina de vapor o el chip de silicio. Este producto mágico era importante no solo por lo que era, sino por lo que nos permitía hacer: nuevos saltos de la imaginación y nuevas proezas de la invención. De hecho, sigue desempeñando ese papel incluso hoy en día. Internet es, en gran parte, una red de información transmitida a través de cables de vidrio y, como veremos más adelante, sin vidrio no podríamos fabricar los cerebros de los ordenadores más avanzados. No está mal para algo que, en última instancia, no es más que arena fundida.

EL PRIMER PRODUCTO MANUFACTURADO DEL MUNDO

Nadie sabe con certeza quién inventó el vidrio. La primera y más famosa historia de su origen la ofrece Plinio el Viejo, el soldado-intelectual romano que murió en la erupción del Vesubio el 79 a. C. Esta historia cuenta que, muchos siglos

antes, unos marineros fenicios habían desembarcado en una playa de lo que hoy es Israel. Los fenicios, los grandes comerciantes de la Antigüedad, importaban bloques de natrón, una forma primitiva de jabón rico en sodio (el natrón es la razón por la que el símbolo químico del sodio es Na). Antes de acostarse, los fenicios encendían un fuego en la playa y, a falta de otro lugar donde apoyar sus vasijas, las colocaban sobre algunos de los bloques de natrón. Al encender el fuego y calentar los bloques de natrón, ocurrió algo extraordinario. Plinio escribe: «Al someterlo a la acción del fuego, en combinación con la arena de la orilla del mar, vieron manar corrientes transparentes de un líquido hasta entonces desconocido: se dice que este fue el origen del vidrio».⁵

El relato debe tomarse con pinzas. En la práctica, la fabricación de vidrio probablemente había sido descubierta y redescubierta por numerosas generaciones en numerosos lugares a lo largo de los tiempos. Algunos la atribuyen a los sirios, otros a los chinos, otros a los egipcios. Algunos fechan las primeras innovaciones en los primeros tiempos de la cerámica vidriada, hace casi 10.000 años. Otros las sitúan entre el segundo y el tercer milenio antes de Cristo. Aun así, apócrifa o no, la historia de Plinio subraya la lección más importante de la química de la fabricación del vidrio.

La dificultad de fabricar vidrio radica en que el principal ingrediente de la arena, la sílice (dióxido de silicio), se funde a temperaturas extremadamente altas (más de 1.700 °C), muy superiores a las de un fuego abierto o un horno primitivo. Sin embargo, si se añade a la mezcla el llamado «fundente», se puede conseguir que la sílice se funda y fluya a temperaturas mucho más bajas. Si se elige el fundente adecuado, no solo se reducirá la temperatura efectiva de fusión de la sílice, sino que también limpiará las impurezas del vidrio, lo que contribuirá a mejorar el producto final.

A pesar de que la historia de Plinio parece un cuento chino, hay algunos detalles que parecen ciertos, empezando por el lugar. Según su relato, todo ocurrió cerca de la desembocadura del río Belus, el actual Na'aman. Los análisis modernos demuestran que los granos de arena que se encuentran en la desembocadura del Na'aman en la bahía de Haifa contienen más de un 80 % de sílice, y el resto son mayormente fragmentos de conchas y piedra caliza. Hay pocas de las impurezas que suelen encontrarse en las arenas costeras.

Los fenicios, al parecer, dieron con la arena perfecta para fabricar vidrio. La proporción de sílice y cal es la adecuada, de modo que, si se añade natrón a la mezcla y se calienta lo suficiente, se obtiene lo que hoy se conoce como vidrio sodocálcico. Junto a la sílice, había carbonato sódico (el principal ingrediente del natrón) para el fundente y una pizca de cal, que ayudaba a reforzar la estructura final.

La estructura del vidrio es, francamente, un poco confusa. Por muy claro y perfecto que pueda parecer a nuestros ojos, a nivel molecular el vidrio se parece más a una maraña de átomos. El término técnico de este embrollo depende de a quién se pregunte: para algunos científicos es un «sólido amorfo», para otros un «líquido superenfriado». En teoría, es a la vez líquido y sólido, aunque, dado su comportamiento, en la práctica es realmente lo segundo. Contrariamente a lo que se cree, a temperatura ambiente el vidrio nunca se comporta como un líquido, ni siquiera como uno imperceptiblemente viscoso, ni siquiera durante largos periodos de tiempo (aunque puede «sudar» si no se añade suficiente cal a la mezcla). Esos cristales deformes que a veces se ven en los vitrales antiguos, más gruesos en la parte inferior que en la superior, no suelen ser así porque el vidrio se vaya descolgando poco a poco con el tiempo. A menos que la iglesia haya soportado temperaturas superiores a 400 °C, lo más probable es que estén desiguales porque así es como se soplaron y solidificaron originalmente.

El vidrio plano no se fabricó hasta el siglo xix y hubo que esperar hasta mediados del siglo xx para que los cristales fueran realmente planos y finos.

Lo paradójico es que, a pesar de ser una de las materias más antiguas fabricadas por el hombre, los científicos siguen sin comprender por qué el vidrio se comporta como lo hace. Parece desafiar la mayoría de las leyes moleculares. Tal como dijo un vidriero, el vidrio no es un material, sino un estado. Es más adjetivo que sustantivo. Philip Anderson, Premio Nobel de Física en 1977, escribió un par de décadas más tarde: «El problema más profundo e interesante que queda por resolver en la teoría del estado sólido es probablemente la teoría de la naturaleza del vidrio y la transición vítrea». Hoy en día sigue sin resolverse.⁶

Se podría decir algo parecido de gran parte de nuestro mundo material. Nuestra especie ha dominado y afectado al entorno natural más que ninguna otra en la historia, pero nuestra comprensión de lo que le ocurre cuando experimentamos con él —quemando esto o remodelando aquello— sigue siendo sorprendentemente superficial. Del mismo modo que no entendemos completamente la física del vidrio, tampoco comprendemos del todo lo que ocurre a nivel molecular cuando se fragua el hormigón, o qué sucede en el horno cuando transformamos el cuarzo en silicio metálico. Abundan los misterios.

No obstante, el producto final, por misterioso que sea, comienza con granos de arena. Se habla mucho de la habilidad de los artesanos de Murano para fabricar un vidrio extraordinario, pero no tanto del hecho de que Venecia estuviera perfectamente situada para obtener las materias primas necesarias para fabricar ese vidrio. La arena podía proceder del Lido —un banco de arena cercano— y de otros lugares del litoral; la ceniza de sosa podía traerse de Egipto o Alicante; la madera para los hornos, de los niveles inferiores de los Alpes

italianos; la arcilla, de Vicenza, y la sal, de Dalmacia. Con el tiempo, los artesanos se dieron cuenta de que podían obtener arenas aún más puras tostando y moliendo guijarros de cuarzo —*cogoli*, como los llamaban—, los mejores de los cuales procedían del lecho del río Tesino, que fluye desde los Alpes suizos hasta el norte de Italia. El cuarzo molido resultante tenía aproximadamente un 98 % de sílice. Sin estas arenas no habría existido la industria vidriera veneciana, pues no son comunes. Esto plantea una pregunta: ¿de dónde sacamos hoy esas arenas? Por decirlo de otro modo, ¿dónde se puede encontrar el grano perfecto?⁷

EN BUSCA DEL SANTO GRANO

Lochaline no es el pueblo más remoto de Escocia, pero no es fácil llegar hasta allí: un viaje de tres a cuatro horas desde Glasgow, un trayecto en ferri y luego un largo y sinuoso viaje por carreteras de un solo carril que atraviesan valle tras valle, a cuál más impresionante. Se necesita una buena excusa para viajar a un lugar así, pero el caso es que yo tenía la excusa ideal. Iba a la caza del grano de arena perfecto.

Lo que constituye el grano de arena perfecto depende más bien de a quién se pregunte. Quien pretenda utilizarla como ingrediente del cemento o el hormigón tendrá una noción muy distinta de la perfección que quien pretenda esparcir esa arena en un arenero o una pista de voleibol. Pero lo que yo buscaba era algo muy especial: una de las arenas de sílice más puras del mundo.

Las arenas síliceas, es decir, con más de un 95 % de sílice, tienen muchos usos. Las necesitamos para filtrar el agua y para fabricar moldes de fundición en los que verter metales fundidos. Sin arenas síliceas, el sistema ferroviario se paralizaría, o más bien dejaría de detenerse, ya que estas arenas se

utilizan en los sistemas de frenado de los trenes modernos. Pero, sobre todo, la arena de sílice es el ingrediente principal en la fabricación del vidrio. Y para obtener el vidrio más fino y transparente, se necesitan las arenas de sílice más puras, a veces llamadas arenas plateadas.

Las arenas plateadas más famosas del mundo —al menos para los que saben de estas cosas— son probablemente las de Fontainebleau, un bosque al sur de París. La famosa pirámide de cristal del Louvre está hecha de arena de Fontainebleau. Hay arenas plateadas en Mol (Bélgica), Maastricht (Países Bajos) y Lippe (Alemania), así como en Canadá, Estados Unidos, Brasil y otros rincones del mundo. Pero, aunque no son exactamente escasas, tampoco son habituales. Algunos países no tienen este tipo de arenas; de hecho, eso fue lo que ocurrió en Gran Bretaña durante mucho tiempo, hasta que se produjo el descubrimiento de Lochaline hará cosa de un siglo.

La mayor parte del viaje transcurrió bajo una intensa lluvia que bombardeada el parabrisas mientras pasaba a toda velocidad por Loch Lomond y Glen Coe, pero en cuanto llegué al ferri de Corran cesó de repente y dio paso a un sol cálido y regenerador. Mientras el ferri cruzaba Loch Linnhe, vislumbré algo sorprendente. En el horizonte había una larga grieta que se extendía hasta donde alcanzaba la vista, con montañas a ambos lados.

Lo que estaba contemplando desde la plataforma del ferri era una especie de cicatriz geológica, una antigua falla que partió Escocia en dos. Se trata de la falla de Great Glen, un enorme valle glaciar que discurre en dirección noreste hasta Inverness. En algún momento, hace entre 300 y 400 millones de años, la tierra del norte se separó de la del sur y se deslizó lateralmente, algo más de 100 kilómetros al norte de la cañada.

Lo sabemos porque los geólogos han comparado las rocas de ambos lados de la falla. De hecho, esta constatación fue una de las precursoras del descubrimiento de las placas

tectónicas. La idea de grandes cortezas continentales chocando entre sí, elevando montañas por aquí, abriendo grietas por allá, creando volcanes y terremotos y vertiendo magma que se convertía en roca, es de hecho sorprendentemente moderna. Sin embargo, durante gran parte de la existencia del planeta, ese tipo de cosas —la acción geológica más que la biológica— fue la principal actividad.

Probablemente haya oído hablar de la analogía del reloj geológico o del año geológico, pero no está de más repetirla aquí. Imaginemos que comprimimos toda la existencia de este planeta en un año natural: así, la Tierra se formó en la medianoche del 1 de enero y ahora, en el momento en que usted está leyendo esto, es el microsegundo exacto de la medianoche, 365 días después, en Nochevieja. Los organismos unicelulares comenzarían a formarse a finales de febrero. Algunas de las rocas más antiguas que existen se formarían a principios de marzo. El gneis lewisiano, una serie de rocas que se encuentra en la misma costa de Lochaline pero más arriba, se formaría en abril, es decir, hace 3.000 millones de años. Pero la vida tal como la conocemos, los primeros insectos y reptiles, no evolucionaría hasta principios de diciembre, más o menos al mismo tiempo que la falla de Great Glen dividía Escocia. La era de los dinosaurios comenzaría el 13 de diciembre y terminaría el 26 de diciembre. El meteorito probablemente responsable del vidrio del desierto de Libia se estrellaría contra el Gran Mar de Arena a primera hora de la mañana del 29 de diciembre, mientras que los primeros animales de aspecto humano evolucionarían a primera hora de la tarde del 31 de diciembre, exactamente a las 17.18 horas. ¿Y el *Homo sapiens*? Bueno, llegaríamos finalmente, a las tantas, hace unos cientos de miles de años, es decir, en torno a las doce menos cuarto de la noche de Nochevieja.

Mirar el mundo a través de este prisma —el tiempo profundo, como se lo llama a veces— es un ejercicio útil, sobre

todo para quienes suponen que la historia de los materiales que utilizamos empieza cuando los sacamos de la tierra o los ensamblamos en una fábrica. Al cruzar la falla de Great Glen hacia la península de Morvern e iniciar el tramo final del viaje a Lochaline, también viajé hacia atrás en el tiempo.

Por inverosímil que pueda parecer, este paisaje de colinas y lagos azotado por el viento fue antaño un estuario junto a un mar tropical. Maravillosas playas blancas de arena cuarzosa bordeaban las olas, donde mariscos y crustáceos se alimentaban de los microorganismos de las cálidas aguas. A lo largo de decenas de millones de años, el mar trituró las montañas y tamizó la arena de forma natural, convirtiéndola en granos cada vez más puros. Luego, de repente, hace 60 millones de años, esta visión del paraíso fue arrasada por una enorme erupción volcánica que cubrió de lava toda la península.

Si nos fijamos bien, hay muchas pistas esparcidas por todas partes. La isla de Mull es en realidad los restos de aquel volcán; la mayor parte de la isla está hecha del mismo basalto que cubría la tierra de Morvern. En algunos arroyos de la península, el agua ha erosionado la corteza basáltica y ha dejado al descubierto areniscas blancas tachonadas con lo que los lugareños llaman «uñas del diablo», conchas de pescado fosilizadas que parecen garras arrugadas si se arrancan de las rocas. Pero este no es el único tesoro que quedó atrapado bajo la lava de aquella erupción.

Aquí, bajo esa corteza de roca volcánica, hay depósitos profundos y gruesos de arenas plateadas. Compuesta en un 99 % de sílice y apenas una pizca de óxido de hierro, esta arena no se parece a ninguna otra. Si quiere construir un castillo de arena, se ha equivocado de lugar. La arena de Lochaline es tan fina y harinosa que se cae entre los dedos como si fuera azúcar en polvo. Mírela al microscopio y comprenderá por qué es mucho más blanda que la arena ordinaria: los granos son redondos y esféricos, limados por millones de años de

erosión y compresión. Sin embargo, es un vidrio brillante e increíblemente claro.

De forma nada habitual en lo que respecta al negocio de la arena, en lugar de sacarla de una cantera aquí la extraen de una mina, excavando en las profundidades de la península de Morvern. Lochaline es también, a primera vista, un lugar extraño para una mina de arena: tan remoto que la única forma de llevarse la arena es por agua y a cientos de kilómetros de las plantas y fábricas que convertirán la materia prima en un producto utilizable. Como la arena es pesada y no especialmente valiosa en comparación con muchas otras cosas que sacamos de la tierra, las canteras suelen estar situadas en algún lugar cercano a donde se necesita el material. Pero hay pocas arenas como las de Lochaline.

Se accede a la mina propiamente dicha por cualquiera de las entradas de la parte del lago, que marcan el comienzo de los túneles. Pero antes de llegar allí tuve que someterme a la ceremonia que precede a la mayoría de estas visitas: ponerme las botas y el chaleco de alta visibilidad, atarme a la cintura el respirador de emergencia y las instrucciones de seguridad y rellenar formularios. En Lochaline, todo esto ocurría en una casita cercana a la entrada de la mina que ha servido de cuartel general desde sus primeros días. En la pared había un descolorido mapa dibujado a mano en la década de 1940 que mostraba los primeros pasadizos excavados en la piedra arenisca. Apoyado en este, en el suelo, había un plano más actualizado. En el primer mapa había unos pocos túneles que penetraban caute­losamente en las colinas de Lochaline. En el segundo, aquella pequeña telaraña se había convertido en un enorme panal de cuevas que se adentraban en la roca.

—Nadie lo ha contado nunca, pero debe de haber más de trescientos kilómetros —me dijo Ally Nudds mientras me llevaba en coche a uno de los pozos. Ally, supervisor de turno, es una de las pocas personas que conoce bien la mina. Estos son

sus túneles; de vez en cuando bloquea un pasadizo y abre otro para ventilar las zonas más profundas de la mina.

Tras una o dos zambullidas y giros, nos encontramos en la más completa oscuridad, con los túneles iluminados únicamente por los faros del Jeep y los reflejos de las luces en la cegadora pared rocosa blanca. A medida que el coche se iba adentrando en el subsuelo, descendiendo por los diversos estratos de arena pura, se me ocurrió que estábamos recorriendo una playa antiquísima, pretérita, un paraíso fosilizado de cientos de millones de años de antigüedad. Durante 10 minutos, el coche fue dando tumbos sobre el suelo arenoso como si conduyéramos por la nieve, hasta que llegamos a una bifurcación y Ally apagó el motor. Por un momento solo hubo negrura, silencio y un tufillo a gasóleo procedente del camión. Busqué a tientas el interruptor de mi linterna frontal y salí afuera.

—Esta —dijo— es la mejor arena que hemos extraído nunca. Setenta partes por millón —añadió, refiriéndose a su contenido de hierro.

Para el ojo inexperto, su aspecto no diferiría demasiado del de cualquier otro túnel de la mina. Permanecimos allí un rato mirando la escarpada pared blanca y gris, en absoluto silencio, roto tan solo por el goteo del agua en algún lugar de la oscuridad. Al final, cuando volvió a recibirnos la lluvia escocesa a la salida de la mina, después de pasar por un laberinto de túneles e incluso por una zona que ahora está inundada y que solo puede cruzarse en barco, entendí por qué los vidrieros odian tanto el hierro. De vuelta en la cabaña, Veronique Walraven, la jefa de personal, me enseñó dos botellas, una hecha con «mi arena», como la llamaba, y la otra con una arena de vidrio más típica, con algunas partes más de hierro por millón. Una de las botellas tenía un tono verde en sus partes más gruesas; la otra, la botella de arena de Lochaline, era prácticamente casi del todo transparente.