



SAM KEAN

AUTOR DEL BESTSELLER *LA CUCHARA MENGUANTE*

# EL ÚLTIMO ALIENTO DE CÉSAR

LA ÉPICA HISTORIA  
DEL AIRE QUE NOS RODEA

*Ariel*

## Índice

Portada

Sinopsis

Portadilla

Cita

Introducción: El último aliento

I. El origen del aire. Nuestras primeras cuatro atmósferas

1. El aire de la Tierra primigenia

Interludio. Un lago explota

2. El demonio en el aire

Interludio. Un arma peligrosa

3. La maldición y bendición del oxígeno

Interludio. Dickens y el calor

II. El dominio del aire. La relación humana con el aire

4. Un hilarante gas que obra prodigios.

Interludio. Le Pétomane

5. Caos controlado

Interludio. Acerados frente a la tragedia

6. Hacia el cielo

Interludio. Las luces de la noche

III. Fronteras. Los nuevos cielos

7. Las repercusiones de la lluvia radiactiva

Interludio. Albert Einstein y la nevera popular

8. Las guerras meteorológicas

Interludio. Rumores desde Roswell

9. Aires alienígenas

Agradecimientos

Notas y miscelánea

Obras citadas

Notas

Créditos

Gracias por adquirir este eBook

Visita [Planetadelibros.com](http://Planetadelibros.com) y descubre una nueva forma de disfrutar de la lectura

---

**¡Regístrate y accede a contenidos exclusivos!**

Primeros capítulos  
Fragmentos de próximas publicaciones  
Clubs de lectura con los autores  
Concursos, sorteos y promociones  
Participa en presentaciones de libros

**PlanetadeLibros**

---

Comparte tu opinión en la ficha del libro  
y en nuestras redes sociales:



Explora

Descubre

Comparte

## SINOPSIS

En *El último aliento de César*, Sam Kean nos invita a emprender un viaje alrededor del mundo y a través del tiempo para narrar la historia del aire que respiramos. Una historia que resulta ser la misma que la historia de la Tierra y de nuestra existencia en ella.

En cada respiración, literalmente estamos inhalando la historia del mundo. El 15 de marzo del año 44 a. C, Julio César murió en el suelo del Senado tras haber sido apuñalado, pero la historia de su último aliento todavía se está desarrollando; de hecho, es probable que ahora mismo estemos inhalando parte de ese aire tan especial.

De entre los sextillones de moléculas que entran o salen de tus pulmones en este momento, algunas podrían contener trazas de los perfumes de Cleopatra, gas-mostaza del ejército nazi, partículas exhaladas por dinosaurios o emitidas por la bomba atómica, e incluso restos de nebulosa del origen del universo. Mientras investiga los orígenes y los ingredientes de nuestra atmósfera, Kean revela cómo la alquimia del aire modeló la forma de nuestros continentes, guió el progreso humano, alimentó revoluciones, y continúa siendo una gran influencia en todo aquello que hacemos.

Sam Kean  
El último aliento de César  
La épica historia  
del aire que nos rodea  
Traducción de Joan Lluís Riera

*Ariel*

Para ver un mundo en un grano de arena  
y un cielo en una flor del campo,  
sostén el infinito en la palma de la mano  
y la eternidad en una hora.

WILLIAM BLAKE,  
*Augurios de inocencia*

## Introducción

### El último aliento

Hagamos un pequeño experimento. Durante unos segundos, fijémonos atentamente en el aire que se escapa de nuestro cuerpo, como si fuese el último aliento de nuestra vida. ¿Qué que sabemos de ese aire? Notemos cómo los pulmones se inflan y desinflan en el pecho. ¿Qué ocurre ahí dentro? Si ponemos la mano frente a los labios, notaremos que el gas que fluye entre ellos se ha transformado en nuestro interior, se ha tornado más cálido y húmedo, tal vez ha adquirido un olor. ¿Qué alquimia causa esa transformación? Y aunque nuestro sentido del tacto no alcance a percibirlo, podemos imaginar las moléculas del gas golpeando contra las yemas de los dedos, bolas inconcebiblemente pequeñas que rebotan hacia el aire que nos rodea. ¿Cuántas hay y adónde van?

Algunas no llegan muy lejos. Al volver a inspirar, se vuelan rápidamente de vuelta a los pulmones, como olas que se lanzan a la orilla solo para regresar al mar. Otras se alejan un poco más, se toman un descanso en la habitación de al lado y acaban volviendo también, como diminutos hijos pródigos. La mayoría simplemente se unen a las masas anónimas de la atmósfera y comienzan a dispersarse por todo el globo. Pero incluso entonces, tal vez varios meses después, unos pocos de esos peregrinos se nos acercarán de nuevo con paso cansado. Posiblemente seamos una persona muy distinta entre el primer y el segundo encuentro con esas moléculas, pero los fantasmas de los alientos pasados no cejan de revolotear a nuestro alrededor a cada segundo de cada hora, enfrentándonos a cada momento pasado de nuestra vida.

Naturalmente, esta experiencia no es solo nuestra; la compartimos con todas y cada una de las personas que habitan la Tierra. Además, nuestros fantasmas seguramente están entremezclados con los de otros, porque de manera inevitable, antes o después, otros han inhalado y expelido y vuelto a inspirar algunas de las mismas moléculas que nosotros. De hecho, si leemos esto en público, inhalamos el aire que escapa de todos los que nos rodean en este momento: aire de segunda mano. La reacción que tenemos ante ese hecho depende de la compañía que tengamos. Algunas veces disfrutamos de esa mezcla de aires, como cuando los amantes se acercan y sienten el aliento del otro junto a la nuca; otras veces la aborrecemos, como cuando la cotorra que

nos ha tocado en el asiento de al lado del avión ha comido ajo para almorzar. Pero salvo que respiremos de una botella, no hay manera de evitar el aire que respiran quienes nos rodean. A cada minuto reciclamos el aire de nuestros vecinos, aunque sean lejanos. Del mismo modo que la luz de las estrellas más apartadas puede destellar en nuestras pupilas, con la próxima inspiración pueden alcanzarnos los restos del aliento de un extraño de Tombuctú.

Y aún más sorprendente es el hecho de que nuestra respiración puede entremezclarnos con el pasado histórico. Algunas de las moléculas de nuestro próximo aliento podrían ser emisarias del 11-S o de la caída del muro de Berlín, testigos de la primera guerra mundial o de la bandera de barras y estrellas que ondeó en Fort McHenry. Y si llevamos nuestra imaginación más lejos en el espacio y en el tiempo, puede conducirnos a lugares fascinantes. Por ejemplo, ¿es posible que nuestro próximo aliento, aquí y ahora, incluya algo del mismo aire que exhaló Julio César en el instante de morir?

La historia es bien conocida. Los idus de marzo, Roma, año 44 a.C. Julio César, *pontifex maximus, dictator perpetuo*, el que da nombre al mes de julio, el primer romano vivo que plasmó su efigie en una moneda, entra en el Senado con un aspecto sorprendentemente vivaz después de una mala noche. Durante la cena, la conversación había derivado hacia el mórbido asunto de la mejor manera de morir. (César había declarado su preferencia por un final súbito e inesperado.) A causa de su epilepsia, había dormido mal aquella noche, y su mujer había tenido terribles pesadillas en las que su casa se derrumbaba y sostenía en sus brazos a un César ensangrentado.

Por todo ello, a punto estuvo de permanecer en su residencia aquella mañana, pero en el último minuto ordenó a sus sirvientes que preparasen su litera, y, mientras su séquito se aproximaba al Foro, por fin se relajó y su aliento se tornó más libre y calmado. Incluso se permitió bromear con un adivino que encontró por el camino, un hombre que, un mes antes, había profetizado su muerte antes de mediados de marzo. César llenó sus pulmones y gritó: «¡Los idus de marzo ya han llegado!». El vidente le respondió sin sonreír: «Sí, pero todavía no han pasado».

Cuando Julio César entró en la sala, cientos de senadores se pusieron en pie. El aire debía estar cargado en la estancia, pues sus alientos mezclados y el calor de sus cuerpos llevaban algún tiempo calentando el aire. Antes de que



César pudiese alcanzar su asiento dorado, un senador llamado Cimbro se le acercó para rogarle el perdón para su hermano. Cimbro sabía que no se lo concedería, pero de eso se trataba. Cimbro no cesó de rogarle y César de rechazarlo, y otros sesenta senadores tuvieron entonces la oportunidad de aproximarse, como para ofrecerle su apoyo. César estaba sentado en medio de todos ellos, imperial y cada vez más irritado. Intentó cortar la discusión, pero Cimbro posó sus manos sobre los hombros de César como si fuera a suplicarle, y entonces tiró de su toga púrpura, dejando su cuello al descubierto.

«¿Por qué esta violencia?», dijo César. No sabía bien la razón que llevaba. Al momento, un senador llamado Casca le golpeó con su daga, rasgándole la nuca. «Maldito Casca, ¿qué es lo que haces?», gritó César, más confundido que airado. A medida que la gavilla de «solicitantes» se acercaba, cada hombre le tiraba de la toga, dejando a la vista un poco de piel, y abría la bolsa de cuero del cinturón donde solía llevarse un estilo. Pero en lugar de sesenta punzones para escribir aparecieron sesenta dagas de hierro. César por fin comprendió lo que pasaba. *Sic semper tyrannis.*<sup>1</sup>



La muerte de César, de Vincenzo Camuccini.

César al principio se defendió, pero tras las primeras puñaladas el suelo de mármol en el que apoyaba sus sandalias se tornó resbaladizo con la sangre. No tardó en enredarse con su toga y, tras caer, los asesinos se abalanzaron sobre él y le propinaron hasta veintitrés puñaladas. Al examinar su cuerpo más tarde, el médico de César determinó que veintidós de las heridas eran

superficiales. Sin duda, su cuerpo se habría estremecido un poco más con cada golpe y la conmoción habría retirado la sangre de la periferia al interior de su cuerpo para mantener el flujo de oxígeno a sus órganos vitales, pero habría sobrevivido, dictaminó su médico, de no haber sido por una de las puñaladas, directa al corazón.

Según la mayoría de las crónicas, César se cubrió con su toga antes de caer y murió sin proferir ni un gemido. Pero según uno de los relatos, y no cuesta comprender por qué justamente este ha sido tan cautivador durante dos mil años, César sintió una puñalada en la ingle antes de caer y, limpiándose la sangre que empañaba sus ojos, acertó a ver a su protegido Bruto en medio del grupo, con su daga ensangrentada. César comprendió lo que veía y, medio como pregunta, medio como respuesta, murmuró «¿Tú también, hijo mío?». Entonces se cubrió para preservar su dignidad y se desplomó sobre el suelo con una última y dolorida exhalación.

Pero ¿qué ocurrió con esa última bocanada de aire? De entrada, la respuesta parece evidente: desapareció. César murió hace tanto tiempo que poco queda ya del edificio en el que murió, y aún menos de su propio cuerpo, que fue incinerado. Es más que probable que las dagas que lo mataron se hayan desintegrado, convertidas por el tiempo en polvo de óxido. Entonces, ¿cómo puede haber persistido algo tan efímero como un aliento? Como poco, la atmósfera es tan ancha y amplia que a día de hoy el último aliento de César debe estar disuelto hasta no ser nada, borrado para siempre en el éter. Si uno se abre las venas en el océano, no espera que dos mil años más tarde llegue a la orilla un cuenco de sangre.

Pensemos si no en las cifras implicadas. Nuestros pulmones expelen medio litro de aire con cada espiración, un volumen equivalente a un globo de poco más de diez centímetros de anchura. Comparemos ahora ese globo con la vastedad de la atmósfera. Dependiendo de dónde situemos sus límites, la atmósfera forma una capa de unos dieciséis kilómetros de altura que envuelve toda la Tierra. Con esas dimensiones, la atmósfera tiene un volumen de unos 8.000 millones de kilómetros cúbicos. Así pues, en comparación con el total de la atmósfera, un aliento de un litro representa tan solo un 0,00000000000000000001 por ciento de todo el aire de la Tierra. ¡Eso sí que es pequeño! Imaginemos que reunimos a los cien mil millones de personas que

viven o han vivido alguna vez: nosotros mismos, hasta el último de los emperadores romanos, el Papa y el Dr. Who. Si suponemos que esa cantidad corresponde a la atmósfera y reducimos nuestra población en el mismo porcentaje, nos quedarían apenas 0,00000000001 «personas», una mota de unos cientos de células, un último aliento sin duda. Comparado con la atmósfera, la última bocanada de aire de César parece un error de redondeo, una nada, y la probabilidad de toparse con cualquier fracción de ese aliento parece nula.

Antes de cerrar las puertas a la posibilidad debemos tener en cuenta, sin embargo, la rapidez con la que los gases se esparcen por el planeta. En apenas dos semanas, los vientos dominantes habrían arrastrado el aliento de César alrededor del mundo, formando una banda más o menos a la misma latitud que Roma, es decir, a través del mar Caspio, el sur de Mongolia y hasta Chicago y el cabo Cod en Massachusetts. En unos dos meses, el aliento cubriría todo el hemisferio norte. Y al cabo de uno o dos años, el planeta entero. (Lo mismo ocurre en la actualidad, naturalmente: cualquier aliento o eructo o humo del tubo de escape de cualquier lugar del mundo tardará más o menos dos semanas, dos meses o de uno a dos años en alcanzarnos, dependiendo de nuestras posiciones relativas.)

De acuerdo, pero esos mismos vientos sin duda habrán difuminado tanto el aliento que ¡ya no quedará nada! Si tanto abarca, se habrá quedado en nada. O quizá no. En el razonamiento anterior hemos tratado el aliento de César como si fuese una masa única, una sola cosa. Pero si nos acercamos mucho, veremos que esa masa de aire queda pixelada en moléculas discretas. Aunque a cierto nivel (el nivel humano) el último aliento de César parece haber desaparecido en la atmósfera, a un nivel microscópico no ha desaparecido en absoluto, puesto que todas las moléculas que lo conformaban siguen existiendo. (Pese a lo «blando» que nos puede parecer el aire, la mayoría de las moléculas que lo constituyen son bastante duras: los enlaces que unen sus átomos se cuentan entre los más fuertes de la naturaleza.) Así que cuando nos preguntamos si acabamos de inhalar algo del último aliento de César, lo que realmente nos preguntamos es si hemos inhalado alguna de las *moléculas* que exhaló entonces.

La respuesta, naturalmente, depende de a cuántas moléculas nos referimos. Basta un conocimiento básico de química para calcular que un litro de aire de cualquier tipo a una temperatura y presión razonables corresponde aproximadamente a 25.000 trillones (25.000.000.000.000.000.000) de moléculas. Esa es una cifra abrumadora, inconcebible. Imaginemos por un momento que Bill Gates hace líquida toda su fortuna, 80.000 millones de dólares que convierte en billetes de 1 dólar que guarda debajo del colchón. Imaginemos que saca cada uno de esos billetes de dólar, uno a uno, y los usa como capital inicial de sendas compañías de informática, y supongamos que cada una de esas 80.000 millones de compañías es un éxito fenomenal que le reporta unos beneficios de 80.000 millones de dólares por empresa. Si sumamos todo ese dinero (80.000 millones multiplicado por 80.000 millones), todavía nos quedamos cuatro veces por debajo del número de moléculas que inhalamos con cada bocanada de aire. Todas las carreteras del mundo y todos los canales y aeropuertos de mundo durante toda la historia de la humanidad no se acercan siquiera al tráfico que hay en nuestros pulmones en cada segundo. Desde esta perspectiva, el último aliento de César resulta innumerable y ahora parece casi inevitable que inhalemos al menos unas cuantas de aquellas moléculas con nuestro próximo aliento.

Entonces, ¿qué cifra gana? ¿El ingente número de moléculas que expelió César o la insignificancia de un aliento en comparación con toda la atmósfera? Para dar con la respuesta, puede resultar útil que pensemos en una situación análoga: la fuga de una prisión y la persecución.

Supongamos que los 300 presos que albergaba Alcatraz en su momento álgido (Al Capone, Robert Stroud el pajarero, George Kelly el metralleta; y 297 amigos más) consiguen reducir a sus guardianes, se hacen con unas chalupas y logran escapar de la isla. Supongamos, además, que como todos se habían criado en las calles y no tenían un pelo de tontos, salen de San Francisco y se dispersan por todo Estados Unidos para reducir las probabilidades de ser capturados. Supongamos también que somos un poco paranoicos y queremos saber cuál es la probabilidad de que alguno de los fugitivos acabe en nuestro pueblo. ¿Está justificado nuestro temor?

Para empezar, Estados Unidos cubre unos 9,8 millones de kilómetros cuadrados. Con 300 presos, eso equivale a un fugitivo cada 32.700 kilómetros cuadrados. Mi ciudad natal en Dakota del Sur se extiende por unos 195 kilómetros cuadrados de pradera, de modo que el número de fugitivos de Alcatraz que podríamos esperar allí sería, dividiendo 195 por 32.700, de 0,006. O sea, cero. No podemos asegurar que sea cero, porque el azar puede llevar a alguno hasta allí, pero con toda probabilidad Alcatraz no inunda el país con bastantes rufianes como para que mi ciudad se convierta en uno de sus refugios.

Pero hay prisiones más grandes que Alcatraz. Imaginemos la misma situación pero con la prisión del condado de Cook, en Chicago, que alberga 10.000 presos. Como habría más presos inundando el país, la probabilidad de que uno de ellos acabara en mi ciudad aumentaría hasta un 20 por ciento. Todavía no nos da la certeza, pero tal vez comencemos a sudar. Como es natural, la probabilidad aumentaría aún más si toda la población de presos de Estados Unidos (la increíble cifra de 2,2 millones de personas) escapase al mismo tiempo. Esta vez el número de convictos prófugos a las puertas de mi ciudad ascendería a 43, y no a 43 por ciento, sino a 43 fugitivos. Dicho de otro modo, con Alcatraz, la pequeñez de mi ciudad dentro de la inmensidad de Estados Unidos la mantenía a salvo. Pero en una fuga apocalíptica de todas las prisiones del país, el ingente número de prófugos inundaría hasta tal punto el territorio que la pequeñez de mi ciudad ya no sería ninguna salvaguarda y, casi con seguridad, algunos de los fugitivos buscarían refugio en ella.

Con eso en mente, consideremos de nuevo el caso del aliento de César. Las moléculas de aire que escaparon de sus pulmones son como los prisioneros que escapan de sus celdas. Su dispersión por todo el país es la difusión de las moléculas de gas en la atmósfera. Y la probabilidad de que un prisionero acabe en una (relativamente pequeña) ciudad equivale a la probabilidad de que una molécula acabe siendo arrastrada a nuestro próximo (y relativamente pequeño) aliento. Así que la pregunta se convierte en: ¿es el último aliento de César como Alcatraz y vertió tan pocas moléculas en el aire que ni se notan? ¿O es como la fuga de toda la población de presos de Estados Unidos, que produce una certeza estadística? La respuesta queda a medio camino. Casi como la materia al encuentro de la antimateria, las

25.000.000.000.000.000.000.000 moléculas y el 0,00000000000000000001 por ciento se compensan casi exactamente. Cuando se hace el cálculo, se halla que en nuestro próximo aliento habrá por término medio una partícula de «aire de César». Ese número puede bajar un poco dependiendo de las suposiciones que hagamos, pero es más que probable que hayamos inhalado ahora mismo algunas de las mismas moléculas que César usó en su grito del alma contra Bruto. Y es una certeza que a lo largo del día inhalamos miles de ellas.

Pensemos en ello. A través de toda esa distancia en el espacio y en el tiempo, unas pocas de las moléculas que se movieron por el interior de sus pulmones lo están haciendo ahora por el interior de los nuestros. Y dada la frecuencia con que respiramos (una vez cada cuatro segundos), eso mismo ocurre unas 20.000 veces al día. Con el paso de los años, es posible incluso que incorporemos algunas a nuestro propio cuerpo. Nada líquido o sólido queda de Julio César, pero cualquiera de nosotros y Julio somos casi como primos lejanos. Parafraseando al poeta, los átomos de su aliento son tan suyos como nuestros.

El aliento de César, claro está, no tiene nada de especial. He escuchado variaciones del problema del «aliento de César» en las que el protagonista era Jesús en la cruz (fui a un colegio católico), y la verdad es que se puede escoger a cualquiera que haya sufrido un último aliento de agonía: las masas de Pompeya, las víctimas de Jack el Destripador o los soldados que murieron en los ataques con gas de la primera guerra mundial. O podría haber escogido a cualquiera que haya muerto en la cama, exhalando un último aliento sereno: la física es la misma. Por poder, podría haber escogido incluso a Rin Tin Tin o a Jumbo, el elefante gigante del circo. Pensemos en cualquier cosa que haya respirado en algún momento, de las bacterias a las ballenas azules, y algo de su último aliento circula por nuestro interior en este instante o lo hará en breve.

Tampoco tenemos que restringirnos a historias de alientos. El ejercicio de «cuántas moléculas había en el último aliento de X» se ha convertido en un experimento mental clásico de los cursos de física y química. Pero cada vez que oía como alguien contaba la historia del último aliento de tal o cual persona, crecía en mí la inquietud. ¿Por qué no ser más audaz? ¿Por qué no ir

aún más lejos y seguirle la pista a esas moléculas del aire a través de fenómenos más grandes y espectaculares? ¿Por qué no explicar la historia completa de *todos* los gases que inhalamos?

Cada hito de la historia de la Tierra, desde las primeras erupciones volcánicas del eón Hádico a la aparición de la vida compleja, dependió de una manera crítica del comportamiento y la evolución de los gases. Estos no nos han dado únicamente el aire que respiramos, sino que además han remodelado los continentes sólidos y transfigurado los océanos líquidos. La historia de la Tierra *es* la historia de sus gases. Y algo parecido puede decirse de los seres humanos, sobre todo durante los últimos siglos. Cuando por fin logramos domar la salvaje potencia física de los gases, aprendimos a construir máquinas de vapor y reventar en segundos montañas enteras de miles de millones de años con la ayuda de explosivos. De igual modo, cuando aprendimos a sacarle partido a la química de los gases, pudimos fabricar acero para los rascacielos y eliminar el dolor de la cirugía y cultivar alimentos suficientes para alimentar al mundo. Como el último aliento de César, esa historia nos rodea a cada segundo: cada vez que el viento silba entre los árboles, o un globo de aire caliente se eleva sobre nosotros, o un inexplicable olor a lavanda o menta o incluso una flatulencia nos hace arrugar la nariz, estamos envueltos en ella. Pongamos una vez más los dedos frente a la boca para percibirlo: podemos aprehender el mundo en un solo aliento.

Ese es el objetivo de *El último aliento de César* : sacar a la luz esas historias invisibles de los gases para que podamos verlas tan claramente como nuestro propio aliento en una fría mañana de noviembre. En diversos lugares del libro nadaremos con cerdos radiactivos en el océano y cazaremos insectos del tamaño de perros salchicha. Veremos cómo Albert Einstein se esfuerza por inventar una nevera mejor y acompañaremos a pilotos mientras despliegan «armas meteorológicas» de alto secreto en Vietnam. Caminaremos entre masas enfurecidas y quedaremos soterrados por una avalancha de vapores tan calientes que nos hervirá el cerebro dentro del cráneo. Todas estas historias se apoyan en el sorprendente comportamiento de los gases, de los que emanan de los pozos de lava o de las entrañas de microbios, de tubos de ensayo o de motores de automóviles, desde cada rincón de la tabla periódica. Todavía hoy

los respiramos a casi todos, y cada capítulo de este libro elige uno como lente para examinar el papel, unas veces trágico, otras cómico, que han desempeñado los gases en la saga de los humanos.

La primera parte del libro, «El origen del aire: nuestras primeras cuatro atmósferas», se ocupa de los gases en la naturaleza. Incluye la formación de nuestro propio planeta a partir de una nube de gas del espacio hace unos 4.500 millones de años, y más tarde, cuando los volcanes comenzaron a expeler gases del interior de la Tierra, la formación de una atmósfera en nuestro planeta. La aparición de la vida revolvió y mezcló aquella atmósfera inicial, provocando lo que se conoce como Catástrofe del Oxígeno (aunque a los animales nos fue muy bien). En definitiva, la primera parte explica de dónde viene el aire y cómo se comportan los gases en diversas situaciones.

La segunda parte, «El dominio del aire: la relación humana con el aire», examina de qué modo los humanos hemos domeñado los talentos especiales de los distintos gases durante los últimos siglos. No solemos pensar en los gases como algo que tenga mucha masa o peso, pero los tiene: si dibujáramos un cilindro imaginario alrededor de la torre Eiffel, el aire de su interior pesaría más que todo el metal. Y como el aire y otros gases pesan, pueden levantar y empujar e incluso matar. Fueron gases los que movieron la Revolución industrial y los que colmaron un antiguo sueño de la humanidad, el de volar.

La tercera parte del libro, «Fronteras: los nuevos cielos», explora cómo ha evolucionado nuestra relación con el aire durante las últimas décadas. Para empezar, hemos modificado la composición de lo que respiramos: el aire que inhalamos ahora no es el mismo que inhalaban nuestros abuelos en su juventud, y difiere considerablemente del que se respiraba hace trescientos años. También hemos empezado a explorar las atmósferas de planetas fuera de nuestro sistema solar, lo que abre la posibilidad a que nuestros descendientes dejen la Tierra y empiecen de nuevo en un planeta lleno de gases que todavía no podemos imaginar.

Además de estas grandes historias, el libro contiene una serie de anécdotas, recogidas bajo el título de «Interludios», que amplían los temas e ideas de los capítulos principales y explican el papel de los gases en fenómenos como la refrigeración, la iluminación de las casas o los dolores intestinales. (Por puro entretenimiento, algunos interludios se desvían hacia



temas no tan cotidianos, como la combustión espontánea o la «invasión» del extraterrestre de Roswell.) Muchos de los gases que aparecen en estas secciones son componentes traza del aire, es decir, compuestos que apenas comprenden unas pocas partes por millón, o incluso por mil millones, de lo que respiramos. Pero en este contexto *traza* no implica insignificancia. Pensemos en una copa de vino. Este está formado en más del 99 por ciento por agua y alcohol, pero eso no basta. Un vino tiene muchos otros aromas, notas de cuero, chocolate, almizcle, ciruela, etc. Del mismo modo, los gases traza aportan matices y finales al aire que respiramos y a las historias que de él podemos contar.

Si le preguntásemos a la gente por la calle qué es el aire, escucharíamos todo tipo de explicaciones dependiendo de qué gases les interesen o de si hablan del aire a una escala macroscópica o microscópica. Está bien: el aire es lo bastante grande como para dar cabida a todos esos puntos de vista. De hecho, espero que este libro empuje al lector a revisar su propia imagen mental del aire, a elaborar sobre él una concepción más holística.

Merece la pena que nos preguntemos qué es el aire para nosotros, puesto que en este mismo instante el aire es lo más importante de nuestro entorno. Podemos sobrevivir sin alimentos, sin sólidos, durante semanas. Podemos sobrevivir sin agua, sin líquidos, durante días. Sin aire, sin gases, apenas duraríamos unos minutos. Pero apuesto a que pasamos muy poco tiempo pensando en lo que respiramos. *El último aliento de César* pretende cambiar eso. El aire puro no tiene color ni (idealmente) olor, y por sí solo parece que no sea nada. Pero eso no significa que sea mudo, que carezca de voz. Está deseoso de contarnos su historia. Y es esta.

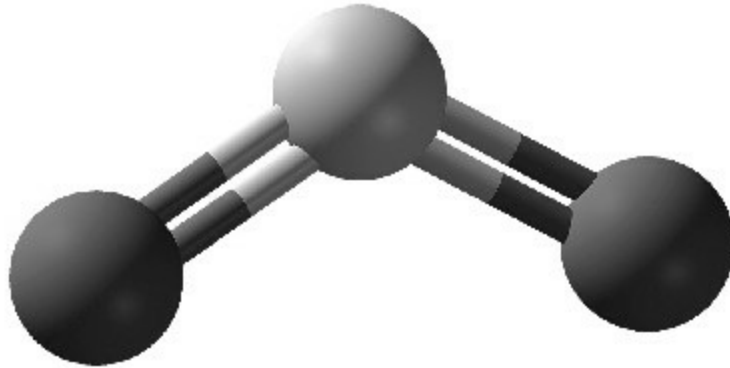
# I

## EL ORIGEN DEL AIRE

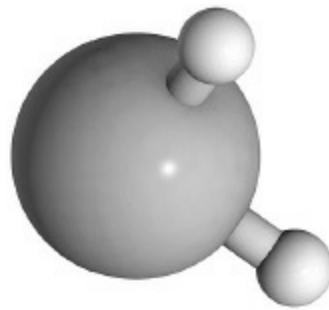
### NUESTRAS PRIMERAS CUATRO ATMÓSFERAS

En «El origen del aire» nos ocuparemos de dos cuestiones importantes: de dónde viene nuestra atmósfera y cuáles son sus principales ingredientes. En conjunto, la Tierra ha tenido varias atmósferas bien diferenciadas a lo largo de su historia, cada una con una mezcla característica de gases. Muchos de esos gases tienen su origen en último término en los volcanes, y algunos se remontan a los primeros días de nuestro planeta, mucho antes de que existiera la vida. Pero desde entonces, la vida ha rehecho y reelaborado la atmósfera de varias maneras, sobre todo con la adición del oxígeno.

## El aire de la Tierra primigenia



*Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), actualmente 0,00001 partes por millón en el aire; inhalamos 120.000 moléculas con cada aliento.*



*Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), actualmente 0,000005 partes por millón; inhalamos 60.000 millones de moléculas con cada aliento.*

El temor a ser asesinado había empujado a Harry Truman a esconderse en las laderas del monte Santa Helena en 1926. No *aquel* Harry Truman,<sup>1</sup> aunque este, Harry Randall Truman, sintiera aprecio por su tocayo. «Tiene agallas, el viejo», decía Truman de Truman. «Apuesto a que pasará a la historia como uno de los presidentes más cojonudos.» Algo sabía este Truman de ser un viejo con agallas. Tras huir al estado de Washington con treinta años, había soportado los rigores y el aislamiento de cincuenta y cuatro brutales inviernos a los pies del monte Santa Helena. E incluso cuando la montaña comenzó a exhalar vapores, a bufar y a rugir en la primavera de 1980, no pudo sacarlo de allí sino de la más espectacular de las maneras: lanzándolo directamente a la atmósfera.

Su familia de leñadores se había trasladado al estado de Washington durante su infancia y, después de graduarse en el instituto, Truman se alistó en el ejército, donde sirvió como mecánico de aviones durante la primera guerra mundial. (Con su don para narrar, solía explicar que había volado en varias misiones de combate en Europa, con su fular blanco arrastrado por el viento en las cabinas abiertas de aquellos días.) De vuelta en América se casó con la hija del dueño de un aserradero y se convirtió en mecánico de coches, pero tanto el matrimonio como el empleo regular le parecieron tediosos. Intentó entonces buscar oro y descubrió que eso, más que tedioso, era un auténtico coñazo.

Así que cuando se impuso la Ley Seca, se dedicó al estraperlo, un empleo más adecuado a su temperamento. Vivir al margen de la ley le resultaba excitante, y le gustaba el dinero fácil. También le apetecía una copa de vez en cuando, y no soportaba que ninguna pandilla de bienintencionados fariseos le sermoneara sobre los peligros del whisky. Finalmente se asoció con unos gánsteres del norte de California y comenzó a suministrar su matarratas de garrafón a tugurios y lupanares a lo largo de la costa. Se lo pasaba en grande, pero entonces, en 1926, algo lo asustó. Nunca dijo qué ocurrió. Quizá se acercase demasiado a la chica de alguien o intentase meterse en el territorio de algún otro mafioso. Sea como fuere, comenzó a llevar consigo un subfusil, hasta que un día agarró a su mujer y a su hija y escapó a los bosques que rodean el monte Santa Helena para pasar desapercibido.



*El locuaz Harry Randall Truman, bebiendo un vaso de «orina de pantera» en su amada cabaña a la sombra del monte Santa Helena. (Foto por gentileza del Servicio Forestal de Estados Unidos.)*

Para ir tirando, comenzó a llevar una gasolinera y tienda de alimentos a unos cinco kilómetros al norte de la cima, pero pronto amplió el negocio con un campamento con cabañas y barcas de alquiler. El lugar se hizo popular. Alrededor de su casa había enormes abetos, algunos de casi ochenta metros de alto y dos y medio de diámetro. El campamento estaba junto al lago Spirit, una lámina de agua alargada de cuatro kilómetros de longitud y un agua tan fría y transparente como una ginebra helada. Dado lo remoto del lugar, Truman pudo seguir dedicándose al estraperlo, y escondió por el bosque varias barricas de un whisky que llamó «orina de pantera».

A su mujer, sin embargo, la soledad le resultaba áspera. Tampoco le gustaba estar separada de su hija, que iba a un internado a varios kilómetros de distancia. Tal vez fuese inevitable que Truman y su mujer se divorciasen a principios de la década de 1930. Él no tardó en volver a casarse, pero la segunda señora de Truman, tan enojosa y avinagrada como su marido, no duró mucho. (No ayudó que Truman intentase «ganar» las discusiones que tenía con ella arrojándola al lago Spirit. No sabía nadar.) Así que Harry lo intentó una vez más, primero seduciendo a otra mujer de los alrededores, para luego

cambiarla por su hermana, Edna. No fue exactamente un principio romántico, pero una vez enamorado de Eddie, Truman ya nunca pudo sacársela del corazón.

Eddie también debía amarlo apasionadamente, porque Truman no debía ser precisamente un marido llevadero. Casi cada día, al amanecer, mientras él comenzaba su rutina, ella tenía que levantarse temprano para hacerle su desayuno favorito: un revuelto de sesos de vaca con un vaso de suero de manteca para ayudar a bajarlo. «Te mantiene viril», bromeaba. Eddie también tenía que aguantar que fuera tan mal hablado. Como hablaba deprisa, a la gente a veces le costaba entender lo que decía, salvo por las palabrotas. Los amigos eran «hijoputas», y los simples conocidos, «estúpidos cabrones». (En una ocasión echó de su propiedad al juez del Tribunal Supremo William Douglas porque le pareció afeminado, aunque luego se hicieron amigos.) Truman también podía ser un sabelotodo. Cuando venía un fotógrafo a tomar unas pocas instantáneas del monte Santa Helena, Truman tenía que meter baza. «Tienes que poner a alguien en la dichosa foto», se quejaba. «Un poco de interés humano es lo que más le gusta al maldito público.» Al escuchar sus entrevistas décadas más tarde, cuando Truman ya era famoso, uno diría que su palabra preferida era un pitido.

Tras un buen día de alquiler de barcas en el lago Spirit, Truman podía embolsarse unos 1.500 dólares. Se reunía entonces con Eddie en el bar que regentaban juntos, le daba el dinero, se servía un vaso alto de su orina de pantera preferida (whisky Schenley con Coca-Cola) y se dedicaba a charlotear con la clientela. Como pareja, en ocasiones derrochaban en cosas como el Cadillac de 1956 de color rosa de Harry, que no resultaba precisamente práctico en las carreteras de montaña, pero que quería casi la mitad de lo que quería a Eddie. Más a menudo, sin embargo, reinvertían el dinero en los campamentos o en el café. O lo ahorraban para las épocas de vacas flacas, aquellos inviernos en los que caían tres metros de nieve y su economía, como ya se puede imaginar quién dijo, «iba más apretada que el culo de un toro en tiempo de moscas». Pero incluso entonces, Truman no podía sino maravillarse de su buena suerte, de vivir donde vivía. «¡Mira eso!», solía decir, señalando el monte Santa Helena. «No verás nada más hermoso en todo el maldito mundo que esa vieja montaña.»

Por correcto que fuera el sentimiento (el monte Santa Helena era realmente hermoso, el ideal platónico de la montaña con la cima nevada), Truman no acertaba con la geología, pues el cono del monte Santa Helena no era viejo en absoluto; apenas si existía en tiempos de Julio César. Parece imposible que una montaña de miles de metros pueda alzarse en unos pocos miles de años, pero el monte Santa Helena era un volcán activo, y los volcanes activos pueden añadir altura muy deprisa apilando lava sobre sus laderas. De hecho, aunque el monte de Fuego (como lo llamaban los indios) no había entrado en erupción desde 1857, cualquier aficionado podía detectar indicios de sus erupciones pasadas, por ejemplo en los senderos salpicados de cenizas antiguas y piedras pómez tan porosas que, cuando se lanzaban al lago Spirit, flotaban. Con bastante frecuencia, los visitantes podían sentir un leve temblor, pero para Truman el peligro solo hacía que su montaña le pareciera más atractiva.

Truman llevaba casi cincuenta años viviendo a la sombra del monte Santa Helena cuando se desató el infierno. Una tarde de septiembre de 1975, Eddie se sintió enferma y se retiró a la cama temprano. Aquella noche iban a visitarlo algunos amigos del pueblo, y Truman los llamó para pedirles que le trajeran una botella de Schenley para él y un regalo para Eddie, una planta para animarla. Cuando llegó la planta, se la llevó directamente a su habitación, y momentos después bajó corriendo las escaleras. Hablaba aún más deprisa de lo habitual, hasta el punto de la incoherencia. «¡Eddie está enferma! ¡Eddie está enferma!», fue todo lo que pudieron entender. En realidad, había muerto de un ataque al corazón. Pero durante una hora más siguió suplicando a los demás que la ayudasen.

La muerte de Eddie abrió una sima en el interior de Truman. La sonrisa ya solo se asomaba a regañadientes, y los amigos que siempre bromeaban sobre lo vivaracho y en forma que parecía («duro como un mochuelo cocido», decía uno de ellos), ahora comentaban lo desmejorado que estaba, aparentando cada uno de los setenta y nueve años que tenía. Al menos durante el verano tenía el campamento para distraerse. Pero a la gente le preocupaban los seis largos meses de invierno, cuando durante semanas no tenía más compañía que el monte Santa Helena, dos tristes y solitarias figuras que se contemplaban mutuamente a través de varios kilómetros de bosque.

Aquel aislamiento, sin embargo, estaba a punto de finalizar. Más o menos por la época en que murió Eddie, unos cuantos geólogos que tomaban muestras de las capas de roca de los alrededores del monte Santa Helena anunciaron que habían descubierto en su pasado un aciago registro de erupciones. En un informe publicado en 1978 fueron aún más lejos, diciendo de la montaña que había sido «más activa y explosiva durante los últimos 4.500 años que cualquier otro volcán de los Estados Unidos contiguos». Unas palabras proféticas. En la naturaleza, bello a menudo significa mortal, y el bello cono de aquella montaña se podía haber descrito igualmente bien como un cañón de artillería.

El monte Santa Helena fue la mayor lección de geología de la historia de Estados Unidos. También nos proporcionó, por extraño que parezca, una fascinante mirada a los primeros días de nuestro planeta y a la creación de nuestra atmósfera. No solemos pensar en el aire como algo creado (nos parece que simplemente *es*), pero todos los planetas tienen que hacer su propia atmósfera desde cero. Y por repulsivos que nos resulten los humos de los volcanes, aportaron los ingredientes básicos en la Tierra. Así pues, para comprender nuestro aire necesitamos entender esas explosiones de lava y gas, y no hay mejor lugar donde empezar que en la erupción más estudiada de la historia y en el improbable héroe que ayudó a hacerla famosa.

Podemos rastrear el peligro que acecha bajo el monte Santa Helena hasta los primeros días del planeta Tierra. Hace unos 4.500 millones de años, en nuestro rincón del cosmos detonó una supernova que envió una onda de choque por el espacio. Esa onda de choque se abrió camino por un mar formado sobre todo por gas hidrógeno que resultó estar cerca, y despertó algo en su interior que hizo que aquel mar se agitara y comenzara a girar en un vórtice alrededor de su centro. Con el tiempo, la gravedad reunió el 99,9 por ciento de aquel gas formando una nueva estrella, nuestro Sol. La mayor parte del gas restante se vio empujado a los márgenes de este incipiente sistema solar, donde formó los planetas gigantes gaseosos como Júpiter y Saturno.

Entre tanto, una pequeña cantidad de gas quedó atrapada entre el Sol y los gigantes gaseosos, y los elementos que había en el interior de esa nube (oxígeno, carbono, silicio, hierro y otros) comenzaron a agregarse por sí mismos, primero en motas microscópicas, luego en cantos y asteroides, más



tarde en rocas del tamaño de un continente. La gravedad, que es una eficiente limpiadora, permitió que este barrido de las pequeñas motas para formar grandes masas se produjese de una forma rápida: un millón de años, según algunas estimaciones. Cuando se juntaron las piezas suficientes, aparecieron varios planetas rocosos, entre ellos la Tierra. Todo lo que hay a nuestro alrededor, por sólido que nos pueda parecer, como el suelo bajo nuestros pies, el libro que sostenemos o nuestro propio cuerpo, todo comenzó siendo un gas. *Fuimos gas.*

Aunque parezca raro decir de un cuerpo sólido como la Tierra que es un antiguo gas, cobra sentido en cuanto se piensa en qué son los sólidos y los gases en lo más fundamental. Las moléculas de un sólido tienen posiciones fijas y apenas pueden moverse; por eso los sólidos retienen tan bien su forma. En los líquidos, las moléculas todavía se tocan y rozan, pero tienen más energía y más libertad para deslizarse, lo que explica que los líquidos fluyan y adopten la forma del recipiente que los contiene. Las moléculas de los gases ni se tropiezan con los codos; son salvajes, con mucho más espacio entre vecinos. Y cuando las moléculas de un gas se encuentran, colisionan y rebotan en nuevas direcciones, como en un caótico juego de billar en 3D. Una molécula típica de aire a 22 °C anda zumbando a mil seiscientos kilómetros por hora.

A cierto nivel, pues, los sólidos, los líquidos y los gases parecen del todo distintos, y de hecho los primeros científicos clasificaron el agua, el hielo y el vapor como sustancias distintas. Hoy sabemos que no es así. Si se calienta el hielo sólido, sus moléculas rompen las cadenas y comienzan a deslizarse como un líquido. Si ponemos algo más de energía, las moléculas del líquido saltan al aire y se convierten en gas. Siempre es la misma sustancia, pero de aspecto distinto. Otros materiales pueden sufrir la misma alteración. No solemos pensar, por ejemplo, en el hierro, el silicio o el uranio del interior de las rocas como vapores en potencia, pero hasta la última de las sustancias de la tabla periódica puede convertirse en gas si se calienta lo suficiente. El proceso también funciona a la inversa. Si a un gas se le quita calor, se condensará en un líquido. Si se quita más calor, se formará un sólido. Aumentar la presión de un gas también puede apretujar sus moléculas hasta que pasa a estados de la materia menos vivaces.

Estos distintos estados de la materia andaban mezclados incómodamente en la Tierra primigenia, una masa fundida y ardiente que no se parecía en nada al ordenado planeta que hoy conocemos. Después de que las rocas (sólidas) del espacio comenzaran a juntarse para formar un planeta, las inmensas presiones gravitatorias hicieron que la mayoría se fundiesen en líquidos. Los más densos (como el hierro fundido) se hundieron hacia el núcleo, en tanto que los más ligeros ascendieron y volvieron a solidificarse en la superficie en contacto con el frío glacial del espacio exterior. Esta Tierra tenía entonces el aspecto de un huevo con una yema hecha básicamente de hierro, un manto gelatinoso a su alrededor y una fina cáscara negra de roca. La principal diferencia era que esa cáscara estaba fracturada en millones de trozos y la lava fundida se colaba entre las grietas. La negrura de la noche nunca acababa de descender sobre la Tierra primigenia a causa del relumbre anaranjado de la lava, y no era infrecuente ver saltar una espuma de lava, como si fuera una fuente de los jardines del infierno.

Esta Tierra primigenia ya tenía una atmósfera (la número uno, por si alguien quiere contarlas), pero era tan exigua que apenas merece esa denominación. Estaba formada sobre todo por hidrógeno y helio que habían quedado atrapados entre el Sol y Júpiter. Pero al poco de formarse, esta atmósfera desapareció, pues el viento solar, una ventisca de protones y electrones que tiene su origen en el interior del Sol, barrió aquellos gases de la Tierra hacia el espacio. Muchos otros átomos de gas se escaparon por su propio pie. Una ley de los gases dice que las moléculas pequeñas se mueven mucho más deprisa que las grandes y pesadas. El hidrógeno y el helio se encuentran en lo más alto de la tabla periódica; son los elementos más ligeros y, por consiguiente, los más rápidos, y cada día una fracción de ellos superaba la velocidad de escape de la Tierra (11,2 kilómetros por segundo). Como billones de minúsculos cohetes Saturno, le dijeron adiós a nuestro infierno Hádico para adentrarse en la gélida calma del espacio exterior.

No tardó en formarse una segunda atmósfera para ocupar el lugar de la primera, esta vez emanada desde el propio suelo. Del mismo modo que hay oxígeno disuelto en la sangre y ácido carbónico en el champán, el magma (la lava subterránea) lleva gases disueltos. Y del mismo modo que el dióxido de carbono se escapa cuando abrimos una botella, el magma dejaba escapar los

gases que contenía en cuanto alcanzaba una grieta en la superficie de la Tierra y la presión del magma descendía súbitamente. Estos gases probablemente (los geólogos no acaban de ponerse de acuerdo sobre este extremo) estuvieran formados sobre todo por vapor de agua y dióxido de carbono, aunque también salieron otros gases. Quien se haya acercado alguna vez al cráter de un volcán podrá adivinar algunos de ellos, como los compuestos sulfurosos que imprimen su aroma a los huevos podridos y a la pólvora (sulfuro de hidrógeno y dióxido de azufre, respectivamente). De las grietas emanaba también una leve bruma de vapores metálicos calientes que incluían átomos de oro y mercurio. Todo estupendo para respirar.

Algunos geólogos defienden una emisión rápida de los gases desde el suelo, lo que se conoce como *Big Burp* (Gran Eructo). Para decepción de todas las mentes pueriles, lo más probable es que no hubiera tal; lo más probable es que la Tierra primigenia fuera acaparando gases y dejándolos escapar lentamente. Tampoco es que una liberación gradual fuera a hacer el lugar más acogedor. El vapor aún nos habría escaldado la piel, los gases de azufre nos habrían lacerado la nariz, los ácidos y el amoníaco nos habrían destrozado los pulmones. Además, las presiones de entonces tampoco nos habrían agradado. El magma era mucho más burbujeante que hoy a causa de su mayor concentración de gases, de los que cada día liberaban miles de millones de toneladas. La presión del aire resultante, hasta cien veces superior a la actual, nos habría aplastado el cráneo y habría convertido nuestro cuerpo en una versión mucho más esférica de nosotros mismos. En aquel aire tan denso, la más leve brisa nos habría empujado como a un bolo hacia una poza de magma.

Por varias razones, esta segunda atmósfera no es el mismo océano de aire en el que vivimos hoy. El principal componente de aquel aire, el vapor, se fue condensando en forma de lluvia y comenzó a acumularse sobre la superficie formando lagos y mares. La formación de los mares y lagos tuvo otros efectos en cadena, porque el segundo ingrediente más común del aire de entonces, el dióxido de carbono, se disuelve fácilmente en el agua, donde reacciona con minerales formando precipitados sólidos. Este proceso iba sacando de circulación el CO<sub>2</sub>.

Otra de las razones por las que no vivimos bajo miles de kilos de presión es que había muchos asteroides (y/o cometas) que al estamparse contra nuestro planeta enviaban grandes masas de aquel aire primigenio de vuelta al espacio. No todos los impactos eran desastrosos, naturalmente. Los asteroides más pequeños probablemente aportaran gases a nuestra atmósfera, por los vapores que encerraban en su interior. Pero cada vez que nuestro planeta servía de diana a uno de los grandes, aprendía una dura lección sobre la conservación de la energía. Buena parte de la energía cinética correspondiente al movimiento del asteroide se transformaba en calor en el momento de la colisión, y es ese calor lo que movía a los gases hacia el espacio. El resto de la energía cinética creaba una gigantesca onda de choque que barría aún más aire hacia el espacio. Algunos geólogos sostienen que estos grandes impactos dejaron nuestro planeta desnudo de atmósfera en más de una ocasión. Si eso es cierto, en lugar de referirnos a nuestra atmósfera nacida de los volcanes como *la* segunda atmósfera, probablemente tendríamos que hablar de las atmósferas 2a, 2b, 2c, etc. Cada una de ellas tenía la misma mezcla de gases, pero los asteroides y los cometas no paraban de evacuarlas.

Una de esas evacuaciones merece una atención especial, puesto que dio origen a la Luna. De hecho, tenemos una luna bastante peculiar. Todos los otros planetas con satélites que conocemos tienen solamente unas pequeñas moscas zumbando a su alrededor, lunas de masa mucho menor a la de la nuestra; nosotros tenemos un albatros, un cuerpo con una cuarta parte de nuestro propio tamaño. Para explicar esta anomalía, los astrónomos del siglo XX propusieron varias teorías. Algunos defendían que la Luna se había formado de forma independiente, como un planeta más, y que un día, mientras intentaba pasar al lado nuestro, la atrapamos en nuestro campo gravitatorio. Otros, siguiendo una sugerencia de George Darwin, el hijo astrónomo de Charles Darwin, proponían que, de algún modo, la Luna se habría separado de la Tierra cuando aún no estaba solidificada, igual que de una célula se separa una yema para formar otra célula.

Las rocas recogidas en la Luna en 1969 resolvieron la cuestión, apuntando a una combinación de estas teorías. Entre otras pistas, las rocas lunares contenían menos gases atrapados en su interior que las rocas de la Tierra, lo que implicaba que algo había expulsado los gases en la Luna. Pero

habría hecho falta una colosal cantidad de calor para expulsar los gases del interior de un cuerpo tan grande como la Luna, lo que lleva a pensar en una colisión de enorme magnitud: cuando los astrónomos hicieron los cálculos, hallaron que el hipotético cuerpo del impacto (que hoy conocemos como Tea) era aproximadamente del tamaño de Marte. Tea posiblemente se formase como un planeta más en otra posición dentro de la órbita de la Tierra, unos cuantos meses «retrasado» o «adelantado» en nuestra vuelta alrededor del Sol. Pero la gravedad, la eterna entrometida, no podía tolerar que dos planetas dieran vueltas como buenos vecinos, y en menos de cincuenta millones de años desde su formación decidió golpearlos como dos piedras. Los astrónomos lo llaman *Big Thwack* (el Gran Impacto).

Por mucho que a uno le venga a la mente la imagen del impacto del asteroide que llevó a los dinosaurios a la extinción, nada tiene que ver. Aquella colisión, por supuesto, erigió pilares de fuego dignos del Éxodo y levantó polvo suficiente para atenuar la luz del Sol durante varios años. Pero la Tierra, como tal, apenas se resintió: aunque el pájaro agrietó el parabrisas, el coche siguió su camino. Lo de Tea fue más bien como llevarse un alce por delante: graves daños estructurales. La colisión no solo expulsó nuestra atmósfera, sino que posiblemente evaporase los océanos y vaporizase continentes enteros de roca. Además, Tea se hundió profundamente en nuestro manto y dejó una Tierra irregular, como si alguien le hubiera dado un puñetazo a un globo terráqueo. La propia Tea se vaporizó, y la mayor parte de sus restos gaseosos, expulsados al espacio, comenzaron a dar vueltas a nuestro alrededor, creando nuestro propio anillo celeste. Pero a diferencia de los anillos de Saturno, que están formados sobre todo de hielo y rocas, este gas supercaliente con el tiempo se fue enfriando y condensando hasta formar la Luna.

A largo plazo, el impacto de Tea nos brindó toda suerte de cosas poéticas, como las lunas llenas e incluso la primavera y el otoño, pues inclinó un poco la Tierra respecto a su eje vertical, dando origen a la variabilidad en la radiación solar responsable de las estaciones. A corto plazo, sin embargo, Tea hizo que nuestro planeta fuese todavía menos acogedor. En particular, acabamos teniendo una atmósfera aún más abrasadora y desabrida que la atmósfera volcánica que la precedió. Esta atmósfera, que duró tal vez un

millar de años, estaba formada fundamentalmente por silicio ardiente (pensemos en arena vaporizada) y salpimentada por una «lluvia» de hierro. También debía tener un punto salino, por los vapores de cloruro de sodio: una bocanada de aire habría sido como lamer una roca de sal.

Nuestra nueva luna contemplaba todo esto desde una altura de tan solo 24.000 kilómetros, así que nos habría parecido en el cielo unas doce veces más grande que el Sol. Además, en su estado ígneo, fundido, habría relumbrado como un ojo amoratado, inyectado en sangre. También habría inspirado poesía, pero más Dante que Frost.

Con el tiempo, el sistema solar fue agotando los asteroides con los que acribillar la Tierra (al menos, de manera regular). A consecuencia de ello, los gases que se iban acumulando en nuestra atmósfera se quedaban en ella en lugar de ser expulsados hacia el espacio. Y, lo que es igualmente importante, surgieron los volcanes. Estos probablemente no fuesen comunes en la Tierra primigenia porque el magma podía expulsar sus gases con más facilidad a través de las grietas de la corteza exterior semifundida. Pero cuando las rocas del espacio dejaron de golpearlos, nuestro planeta se enfrió y adquirió una corteza superficial dura con muchas menos grietas, de modo que el magma comenzó a acumularse en grandes depósitos bajo tierra. Como todavía contenía gases disueltos, la presión en el interior de esos depósitos aumentaba hasta niveles peligrosos. Con el tiempo, la presión aumentaba tanto que la lava y los gases calientes rompían la corteza y arrasaban con todo a su paso.

Aunque el magma actual ya no tiene tantos gases, este ciclo antiquísimo de aumento de presión bajo tierra y explosión hacia afuera sigue vigente. De hecho, es precisamente lo que ocurrió en el monte Santa Helena en 1980.

La muerte de Eddie dejó a Truman postrado. Pasaba los días y las semanas como en un letargo, y se fue haciendo más distraído y descuidado en su trabajo. Un árbol que taló le golpeó en la cabeza. La manó se le quedó prendida en la máquina quitanieves. Una caída desde el porche de su casa lo dejó inconsciente y se despertó en la nieve en calzoncillos. El campamento también se vio afectado. Sin Eddie, que se encargaba de hacer las camas, las habitaciones tenían un aspecto desaseado. A Truman tampoco se le daba bien la cocina. No es que Eddie hubiera conseguido una estrella Michelin para el café (entre otras delicias, servía perritos calientes y hamburguesas en pan

blanco revenido), pero Truman provocaba en sus clientes estrés postraumático. La comida podía ser MC&C (o sea, manteca de cacahuets con cebolla) y la cena podía consistir en «sopa de espalda de pollo», una sopa de carcasa de ave hervida con veinticinco dientes de ajo. Es como si quisiera ahuyentar a la clientela.

Mientras Truman se hundía en el desaliento, la montaña que se alzaba frente a él se tornaba más enérgica de mes en mes a causa de los movimientos que se producían en las placas continentales bajo su base. En 1980, los términos «deriva continental» y «tectónica de placas» comenzaban a sonar familiares en boca de los geólogos, un hecho que pocos habrían podido predecir tan solo quince años antes. La primera persona que propuso la teoría de la deriva continental fue el meteorólogo alemán Alfred Wegener, quien se pasó los primeros años del siglo XX dándole vueltas al intrigante hecho de que los márgenes de América del Sur y de África parecían encajar como trozos de cerámica rota. También se percató de que los dos continentes tenían registros fósiles parecidos, y, tras recibir un tiro en la garganta en la primera guerra mundial, durante la convalecencia decidió escribir un libro en el que proponía que los continentes descansaban sobre grandes placas que de algún modo se habían ido desplazando con el tiempo.

Decir que los geólogos no recibieron bien la teoría de Wegener sería como decir que el general Sherman no fue calurosamente acogido en Atlanta.<sup>2</sup> Los geólogos detestaban la tectónica de placas, hasta el punto de regodearse en su inquina. Pero a medida que se acumulaban indicios a su favor durante las décadas de 1940 y 1950, la deriva de las placas continentales dejó de parecerles una idea estúpida. La balanza acabó de inclinarse a finales de la década de 1960 y, tras uno de los más espectaculares cambios de opinión de la historia de la ciencia, en 1980 prácticamente todos los geólogos del mundo aceptaban la teoría de Wegener. El cambio fue tan completo que hoy en día se nos hace difícil valorar como corresponde la importancia de esta teoría. Del mismo modo que la teoría de la selección natural apuntaló la biología, la tectónica de placas acogió un auténtico revoltijo de observaciones sobre terremotos, montañas, volcanes y la atmósfera y los unió bajo un único esquema explicativo.

Las placas continentales se mueven a veces de una forma rápida, con las sacudidas que conocemos como terremotos. Pero más a menudo rozan una contra otra a la velocidad con la que crecen las uñas. (Da que pensar cada vez que nos cortamos las uñas: estamos ese poquito más cerca del *Big One*.)<sup>3</sup> Cuando una placa se hunde por debajo de otra, un proceso que se conoce como subducción, la fricción del roce genera calor que funde la placa inferior, reduciéndola a magma. Una parte de este magma desaparece en las entrañas de la Tierra; sin embargo, la fracción más ligera asciende por grietas de la corteza, camino de la superficie. (Por eso la piedra pómez, una roca volcánica, flota cuando se tira al agua, porque proviene de esa materia de tan baja densidad.) El calor de la fricción también libera dióxido de carbono de la placa que se funde, además de cantidades menores de sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre y otros gases, entre ellos cantidades traza de nitrógeno.

Al mismo tiempo que el magma caliente asciende por las grietas de la corteza, el agua de la corteza se cuele y desciende por esas mismas grietas. Y de ahí nace el peligro. Una característica fundamental de los gases, que aparecerá una y otra vez, es que se expanden al calentarse. Otro hecho relacionado con este es que la versión gaseosa de una sustancia siempre ocupa mucho más espacio que la versión líquida o sólida. Así que cuando esa agua líquida que cae hacia las profundidades se encuentra con el magma que bulle hacia la superficie, el agua se convierte en vapor y se expande con la fuerza de una supernova, ocupando de repente 1.700 veces más volumen que antes. Los bomberos tienen buenas razones para temer este fenómeno: cuando lanzan agua fría sobre un fuego caliente y sibilante, la explosión de vapor en un espacio cerrado puede abrasarlos. Lo mismo ocurre con los volcanes. Nos fascina el relumbre anaranjado de la lava que desciende por las laderas, pero son los gases los que causan las explosiones y producen los mayores daños.

En todo el mundo, hay en todo momento unos seiscientos volcanes activos. La mayoría se encuentran a lo largo del famoso Cinturón de Fuego que da la vuelta al océano Pacífico, sobre varias placas inestables. En el caso del monte Santa Helena, la placa de Juan de Fuca, frente a las costas del estado de Washington, está chocando contra la placa norteamericana más o menos a unos ciento cincuenta kilómetros por debajo de la superficie. Esa profundidad deja



una pesada tapa de roca sobre los depósitos de magma y, por consiguiente, impide la emisión continua de vapores perniciosos. Pero cuando una de esas bolsas profundas alcanza la superficie, salta la metralla.

\*

El 20 de marzo de 1980, un temblor de magnitud 4,0 sacudió el monte Santa Helena. Notar que el suelo tiembla no era nada raro por aquellos pagos, pero a diferencia de los casos anteriores, esta vez el suelo siguió moviéndose. En un lustro típico, el monte Santa Helena podía experimentar unos cuarenta temblores. En la semana que siguió al 20 de marzo, hubo un centenar de sacudidas.

Aquello puso en una posición delicada a los científicos, que no querían alarmar al público sobre una erupción que podía no llegar a producirse nunca. Tan solo cinco años antes, una predicción apocalíptica sobre el volcán del monte Baker, al norte de Seattle, se había quedado en un chisporroteo, dejando en evidencia a los científicos. Pero el monte Santa Helena no quería aplacarse. El 27 de marzo, una nube de humo se alzó desde el pico hasta unos 2.000 metros y tiñó de negro la blancura de la nieve. Poco después, las autoridades del estado cerraron con barricadas todas las carreteras de los alrededores del volcán. En una decisión más contestada, iniciaron la evacuación forzada de los residentes. Un joven y rubio geólogo llamado David Johnston explicaba así las razones a los periodistas: «Es como estar cerca de un barril de dinamita. La mecha está encendida, pero no sabemos lo larga que es».

Hubo, sin embargo, un residente de la zona de evacuación que decidió que el gobierno no sabía de qué demonios estaba hablando. Harry Truman, a solo cinco kilómetros del bello y mortal volcán, le restó importancia al primer temblor, que consideró una simple avalancha. Incluso durante las múltiples réplicas, se negó a creer que estuviera en peligro. Había vivido casi toda su vida a los pies de la montaña, incluidos sus mejores años, junto a Eddie, y declaró que «si la montaña va a hacer algo, mejor me quedo aquí y me voy con ella».

La noticia sobre «el hombre que no quiere abandonar la montaña» se extendió como la pólvora, sobre todo entre los periodistas, a quienes el latido del volcán comenzaba a parecerles frustrante. Aparte de la cita de Johnston sobre el «barril de dinamita», los periodistas, a la caza de hechos

contrastables, no podían sacarles mucho más a los geólogos, que envolvían sus respuestas con cautela. Así que la mayoría de los artículos iban en otra dirección, pasando por encima de la ciencia para centrarse en historias de color local. Tal como Truman solía decir a los fotógrafos, hay que poner un maldito toque humano para mantener a la gente interesada, y sus costumbres de viejo gruñón (a veces hasta llevaba calcetines con sandalias) eran ideales para los medios de comunicación. Durante décadas, Truman había incluso evitado la publicidad, temeroso aún de que alguien de sus días del estraperlo de whisky pudiera aparecer para liquidarlo. Pero en 1980 todo aquello quedaba a medio siglo de distancia, y Truman descubrió que le gustaba contar viejas historias a nuevos oídos. Como la de aquella vez en la que luchó con un oso con un rastrillo, vestido únicamente con su ropa interior. O cuando creó una leyenda local sobre un *sasquatch* tallando en madera un par de grandes pies con los que dejar huellas en la nieve. También desempolvó unas cuantas historias de la primera guerra mundial, y decía estar medio decidido a abrocharse de nuevo el casco de piloto para lanzar una bomba en el cráter y acallararlo.

Aparte de contar historias, Truman echaba pestes de las autoridades locales siempre que podía. «Dicen que va a explotar otra vez, pero mienten como cosacos», decía con desdén. También se jactaba de poder juzgar la escala de Richter más deprisa que cualquier geólogo, que le bastaba con mirar cuánto se balanceaba el letrero de Rainier Beer de su café. No hubo medio de comunicación importante del país que no enviase un corresponsal a verlo, y todos sabían que debían llevar una botella de whisky Schenley como presente. Truman no tardó en tener una vitrina llena de botellas, y bromeaba con que ahora la montaña ya podía hacer lo que quisiera, que él ya estaba preparado.

Las autoridades pensaron en arrestar a Truman para cumplir con la orden de evacuación y acabar con tanto bombo. Pero ¿entonces qué? Enviar a un viejo a la cárcel no es la mejor manera de ganarse al público, y a ver quién encuentra después un jurado popular para condenarlo. Mejor dejarlo con su cháchara, aunque sea en el *New York Times* o en *National Geographic*.

Para el público, cada semana que transcurría sin una explosión incrementaba la tensión y la emoción. En los jardines de algunas casas se podían leer letreros que decían: «Santa Helena: mantén tu ceniza lejos de mi

césped». Como alrededor de la montaña había muchas pistas forestales, cualquiera que tuviera un mapa decente podía eludir los bloqueos de las carreteras, y hubo quien prácticamente se puso a hacer pícnicos en las laderas, excitado por la posibilidad de ver algo de lava en primera línea. Hasta el gobernador de Washington, Dixy Lee Ray, quien, como antiguo científico (biólogo marino), debería haber hablado con más comedimiento, se dejó llevar por el entusiasmo. «Siempre he dicho», comentó efusivamente, «que guardaba la esperanza de vivir el tiempo suficiente para ver uno de nuestros volcanes en erupción». En el punto más bajo de las payasadas, un equipo de filmación se acercó con un helicóptero y grabó sobre el pico imágenes para un anuncio de cerveza.

Entre tanto, los gases no dejaban de acumularse en el interior del monte Santa Helena. Los aviones que lo sobrevolaban detectaron emisiones cada vez más intensas de dióxido de azufre (el olor de la pólvora), lo que significaba que el magma, rico en azufre, iba ascendiendo hacia la superficie. (Sobrevolar la montaña era técnicamente ilegal en ese momento, pero eran tantas las avionetas que se saltaban la prohibición que un piloto comparó el enjambre con los combates aéreos de antaño.) Más preocupante fue el descubrimiento que se produjo a mediados de abril, cuando los geólogos detectaron un bulto en la cara norte de la montaña, una enorme tumoración de roca hinchada. Nadie sabía lo rápido que crecía aquel bulto, así que enviaron unas avionetas dotadas de láseres que permitían detectar un incremento de tan solo unos milímetros por día. Unos pocos milímetros puede parecer una nimiedad hasta que uno piensa en lo que representa levantar toda la ladera de una montaña. Al final, no hizo falta tanta resolución: el bulto crecía un metro y medio al día. Los geólogos del gobierno ya habían visto bastantes señales ominosas como para, el 9 de mayo, retirar todas sus torres de observación hasta una distancia de diez kilómetros, fuera de la zona de peligro que se había calculado. Truman se mofó de aquellos cobardicas.

O al menos eso hizo de cara afuera; en privado, también notaba cómo la presión aumentaba en su interior. Truman siempre había dicho que los grandes abetos que se alzaban entre él y el volcán amortiguarían el golpe y lo protegerían, pero a medida que pasaban las semanas, sus amigos podían observar cómo flaqueaba su convicción. Estaba más solo que nunca, y aunque

los periodistas le reían la ocurrencia de llevar espuelas al ir a la cama para evitar que una sacudida lo tirase al suelo, solo bromeaba a medias. Algunas noches, los temblores hacían traquetear los platos del café varias veces por hora, y aquello lo tenía atacado de los nervios. Las noches que conseguía dormir, al despertarse se encontraba la cama desplazada al otro lado de la habitación. No quería abandonar la casa que había compartido con Eddie, pero tampoco quería vivir cada noche aterrorizado.

Sus amigos y las autoridades, que se habían percatado de eso, hicieron a mediados de mayo un último intento de sacar al lobo del monte. Truman dijo que no. Y lo dijo, en parte, porque para entonces estaba recibiendo sacos de cartas de personas que se sentían inspiradas por su valor. Tampoco faltaron propuestas de matrimonio. («¿Por qué querría casarse una chica de dieciocho añitos con un viejo [*pitido*] como yo?», se asombraba.) También recibió una carta de Dixy Lee Ray en la que alababa su firmeza, y Truman prácticamente la ondeó sobre su cabeza movido por la excitación. Es difícil decir si la adulación y la fama reforzaron lo que de todos modos ya quería hacer, o si la presión de sentirse famoso lo forzó a tomar decisiones que de otro modo no habría tomado. Sea como fuere, no quiso salir de allí.

Dando a Truman por imposible, las autoridades del estado decidieron sacar a todos los demás de la montaña. Después de tres días de paz sísmica, sin embargo, decidieron levantar el bloqueo para los propietarios de cabañas, y el 17 de mayo les permitieron apresurarse por las carreteras de la montaña con camionetas vacías para recoger sillas, mesas, tostadoras, cámaras o lo que pudieran agarrar. Las autoridades dieron permiso para un segundo viaje a la mañana siguiente. Pero la montaña tenía otros planes.

Pese a toda su cautela, el monte Santa Helena todavía consiguió abochornar a los científicos. Pero lo que los molestó no fue que no acertasen con el *cuándo*. Las erupciones son imposibles de predecir, así no había por qué avergonzarse si el domingo, 18 de mayo, a las 8:32 de la mañana, no figuraba entre las apuestas. Los geólogos estaban de acuerdo acerca de *qué* iba a ocurrir cuando se desencadenase el suceso: el cono de la montaña canalizaría toda la fuerza ascendente y descargaría todo el humo y el gas hacia el cielo. Pero no fue así. Lo que ocurrió fue que el bulto de la ladera norte cedió y, tras un breve colapso hacia adentro, toda aquella repugnante materia comenzó a salir por la

ladera, formando el mayor deslizamiento de tierras de la historia escrita. Además, los gases a presión bajaron de estampida por la ladera, mezclándose con la ceniza y el humo y vaporizando todo lo que encontraron a su paso.

Se podría señalar la devastación en forma de una serie de círculos concéntricos. La explosión se oyó a más de trescientos kilómetros de distancia. A ciento sesenta kilómetros, las ventanas temblaron en sus marcos y los juegos de café de la abuela volcaron dentro de las vitrinas. A ciento treinta kilómetros, en Yakima, del cielo cayeron bolas de barro, y el propio cielo se ennegreció lo bastante como para disparar el alumbrado público automático a las 9:30 de la mañana. A setenta kilómetros, la temperatura de algunos ríos subió por encima de los 30 °C, obligando a los salmones a saltar a las riberas.



*La erupción del monte Santa Helena el domingo, 18 de mayo de 1980.  
(Fotografía por gentileza del Servicio Forestal de Estados Unidos.)*

Curiosamente, cuanto más cerca de la montaña, más difícil era oír la explosión. La gruesa capa de arena y tierra absorbió buena parte del ruido cerca del volcán. Además, el sonido tiende a subir con el aire caliente cercano al suelo, de modo que pasó por encima de las cabezas de la mayoría de los que se encontraban cerca. (Más adelante comentaremos más este fenómeno.) Por supuesto, la falta de ruido no quiere decir que todo fuese apacible dentro de la zona de la explosión. En un radio de 25 kilómetros, todos los árboles quedaron tumbados, como si alguien hubiera cogido un peine gigante y lo hubiera pasado por el pelo del monte Santa Helena. Camiones madereros de varias toneladas de peso quedaron tumbados de lado como si fueran de juguete. La gente fue bombardeada con cascotes ardientes y quedaron con el pelo quemado. Un hombre y una mujer que fueron sorprendidos en la zona inmediata y que sobrevivieron refugiándose en el hueco dejado por un árbol arrancado de cuajo, se prometieron que se casarían si sobrevivían. Lo hicieron, y lo hicieron.

En un radio de unos quince kilómetros, casi todo lo que podía morir murió. La lista incluye varios miles de grandes mamíferos (ciervos y otros ungulados, osos), y el propio David Johnston, el geólogo rubio que había comparado el monte Santa Helena con un barril de dinamita. Joven y en forma (corría maratones, lo que por aquel entonces era una rareza), Johnston se había presentado voluntario para hacer turnos de vigilancia en las torres más cercanas, pues suponía que tenía más posibilidades de escapar que sus compañeros de más edad. El 18 de mayo no le tocaba trabajar, pero había cambiado turno con su jefe, que quería pasar tiempo con un amigo que había venido a visitarlo desde Alemania. Cuando el monte Santa Helena explotó, Johnston apenas tuvo tiempo de contactar con radio con el centro de mando, gritando «¡Ya está aquí!». Sus colegas dijeron que parecía entusiasmado.

Nunca se encontró el cuerpo de Johnston, pero dentro de la zona aparecieron docenas de otros cuerpos. Los forenses determinaron que la mayoría había muerto por inhalación de ceniza, pues en cuanto esta se mezcla con la saliva, forma en la boca una masilla que taponan las vías respiratorias. Tras su muerte, sus cuerpos se quemaron en el calor y sus órganos internos quedaron deshidratados, con el aspecto de cecina. Unos pocos cuerpos estaban tan correosos y saturados de ceniza que mellaban el filo de los escalpelos.



*Buzones casi ocultos por la ceniza tras la erupción del monte Santa Helena.  
(Fotografía por gentileza del Servicio Geológico de Estados Unidos.)*

En los siete kilómetros más cercanos, los rescatadores ni se molestaron en buscar cuerpos. El hedor de azufre debía ser abrumador, un retorno a la Tierra primigenia. Y como esta, el paisaje estaba desprovisto de rasgos. Cuando Jimmy Carter sobrevoló la zona unos días más tarde, quedó asombrado: «A su lado, la superficie de la luna parece un campo de golf». El único punto de referencia era el nuevo lago Spirit. Como todo lo demás, el original había quedado sepultado bajo docenas de metros de ceniza ardiente. Pero el agua consiguió colarse por entre los cascotes y formar un nuevo lago unos sesenta metros más elevado. Mientras que el original había sido fresco, transparente y atractivo, con una visibilidad de nueve metros, el lago Spirit II parecía un albañal de humeantes aguas negras con una visibilidad de centímetros.

Por último, en un radio de cinco kilómetros, estaba Harry Truman. Baste decir que nunca sabremos lo que pasó, más allá del hecho obvio de que murió. Pero podemos reconstruir sus últimos momentos basándonos en las víctimas de otros volcanes y en las leyes de la química.

Para empezar, su ropa debió saltar en llamas como papel de fumar, sus vaqueros, su jersey, sus calcetines, incinerados al instante. El esmalte de sus dientes debió agrietarse y sus pulmones, otrora húmedos, quedaron

carbonizados. Sin embargo, no debió sufrir. Muchos de los cuerpos excavados tras la erupción del monte Vesubio en el año 79 d.C., sobre todo los de quienes buscaron refugio en estancias cerca de la playa, no mostraban ningún signo de terror o de lucha; ninguno, por ejemplo, se cubría la cara con las manos, una señal común de agonía, lo que sugiere que probablemente el golpe de calor los matase en menos de un segundo, demasiado rápido para que sus reflejos registrasen algún dolor.

El calor del Vesubio también hizo que los músculos de muchas víctimas se contrajeran tras la muerte, retorciendo los dedos bajo los pies y enroscando los brazos hacia arriba sobre el pecho, en la llamada pose pugilística. Sus cuerpos fueron luego sepultados en ceniza, que se endureció a su alrededor como una máscara mortuoria. A medida que los cuerpos se descomponían, dejaban un peculiar hueco. Llenando esos huecos con escayola, los arqueólogos crearon las figuras de cuerpos que los turistas ven hoy en Pompeya.

Así que ese es uno de sus finales posibles: una cavidad en forma de Harry Truman sepultada a varios metros por debajo de la corteza volcánica. Pero hay otra posibilidad, más macabra. El Vesubio destruyó otras ciudades además de Pompeya, y en esos lugares, que recibieron el choque directo del calor, como el campamento de Truman, varias personas quedaron vaporizadas al momento.

Los pocos estudios que existen sobre la vaporización de los cuerpos dividen el proceso en tres estadios: vaporización del agua, vaporización de las vísceras y vaporización de los huesos. La vaporización del agua se produce en dos pasos. Primero la temperatura del cuerpo tiene que subir de la normal (37 °C) a la de ebullición (100 °C). El contenido de agua en el cuerpo humano cambia a medida que envejecemos, bajando del 75 por ciento en los blandos recién nacidos a menos del 60 por ciento en los ancianos (casi literalmente) encallecidos. Por su edad y peso, Truman debía llevar unos 45 kilos de agua. Como el agua absorbe el calor bastante bien, para calentar esa cantidad hasta los 100 °C hace falta mucha energía, alrededor de 2.900 calorías. (En comparación, hacen falta 305 calorías para calentar 45 kilogramos de hierro hasta la misma temperatura; para el oro, solo 88.) Y de momento no tenemos más que agua caliente. Para generar vapor hace falta



todavía más energía. Esto se debe a que las moléculas de agua sienten una fuerte atracción por sus vecinos, así que les cuesta dejarlos atrás para volar al aire en forma de gas. En definitiva, hacen falta unas 24.000 calorías más para generar 45 kilos de vapor.

En lo que respecta a la vaporización de vísceras, hay cientos de órganos y tejidos, todos ellos con diferentes propiedades y perfiles de absorción de calor. En lugar de tabular todas esas diferencias, algunos científicos utilizan un sucedáneo, cerdo seco, porque los humanos y los cerdos tenemos vísceras parecidas. Por término medio, un humano tiene (después de retirar el agua) alrededor de 12 kilogramos de órganos, cartílagos y grasa, y como el cerdo seco tiene unas 230 calorías por cien gramos, probablemente sean necesarias unas 27.000 calorías más para descomponer todas las moléculas de las vísceras.

A juzgar por el estado de las víctimas del Vesubio, sabemos que el agua y las vísceras se vaporizan fácilmente bajo la arremetida del calor volcánico. Vaporizar los 12 kilogramos de esqueleto humano es más difícil porque el principal mineral del hueso (hidroxiapatito de calcio,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) tiene un punto de ebullición elevado. En consecuencia, es probable que el esqueleto de Truman haya quedado intacto, aunque no indemne. Por encima de 480 °C el hueso adquiere un color amarillo pálido y se funde ligeramente a causa de la reordenación de las moléculas. Esta reordenación debilita el hueso, que se torna más quebradizo. En algunas de las víctimas del Vesubio el cráneo había explotado, supuestamente porque los gases volcánicos calientes provocaron que les hirvieran los sesos, y como los vapores del cerebro tenían que escapar por algún sitio, debieron salir haciendo saltar la tapa de los sesos a modo de minierupciones del monte Santa Helena.

En conjunto, hacer hervir el agua y vaporizar las entrañas y el esqueleto de un maldito viejo como Harry Truman debió requerir unas 75.000 calorías,\* el equivalente de todo un mes de buena alimentación. Eso es aún más impresionante si se tiene en cuenta que toda esa energía llega de un solo golpe. Pocas cosas, aparte de las bombas atómicas, puede vaporizar un cuerpo humano entre dos latidos del corazón, y los volcanes pertenecen a este club.

Los últimos momentos de la vida de Harry Truman debieron ser así. Tan cerca de la explosión, no debió oír nada, pero el suelo debió temblar bajo sus pies y hacerlo caer. Si miró hacia arriba, debió ver algo sublime, en el antiguo sentido de excelso y sobrecogedor. La ladera de la montaña que había admirado durante toda su vida debió colapsarse como un suflé para luego explotar, dejando salir de golpe todos los gases de su interior. Dada la velocidad de la negra nube que emergió (hasta 550 kilómetros por hora), Truman tal vez la vio reseguir la ladera durante un minuto, una columna de humo de cien pisos de altura y dieciséis kilómetros de anchura. Su intenso calor debió vaporizar toda la nieve a su paso y abrasar todos aquellos abetos de 70 metros de altura como pedazos de plástico en una hoguera. Cuando el frente llegó rugiendo al campamento de Truman, debió levantar ampollas en la pintura rosada de su Cadillac y quizá reventase los neumáticos al expandirse el aire en su interior. Las botellas de Schenley de su vitrina debieron explotar como cócteles Molotov y toda la orina de pantera debió alzarse en llamas azuladas. La ropa de Truman debió arder hasta desaparecer, y luego el propio Truman debió sublimarse en el sentido científico, transformado de sólido a gaseoso casi al instante. Con un último silbido, debió alzarse en el aire, pasando a formar parte de la atmósfera.

Como el último resuello de César, es más que probable que hayamos inhalado un poco de Harry Truman con nuestro aliento más reciente.

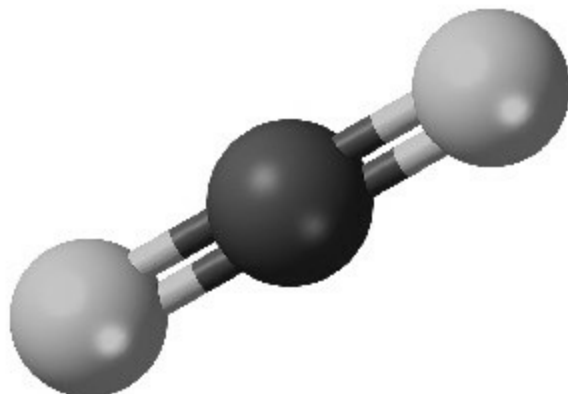
El monte Santa Helena tardó dos mil años en construir su hermoso cono y dos segundos en destruirlo. En un momento pasó de 2.960 m a 2.560 m, despojándose al hacerlo de unos 400 millones de toneladas de peso. La columna de humo negro serpenteó hasta unos 26 kilómetros de altura, generando sus propios relámpagos durante su ascenso. El polvo que escupió recorrió todo Estados Unidos y cruzó el océano Atlántico, hasta dar la vuelta al mundo y pasar de nuevo sobre la montaña desde el oeste al cabo de diecisiete días. En total, la erupción liberó una cantidad de energía equivalente a 27.000 bombas de Hiroshima, aproximadamente una por segundo durante las nueve horas de erupción.

A la vista de todo esto, merece la pena observar que el monte Santa Helena fue en realidad poca cosa en el panorama de las erupciones. Vaporizó unos cuatro kilómetros cúbicos de roca, pero eso es solo un 8 por ciento de lo

que expulsó el Krakatoa en 1883 y un 3 por ciento de lo que escupió el Tambora en 1815. El Tambora redujo la radiación solar en todo el mundo en un 15 por ciento, afectó a los monzones y causó el famoso «año sin verano» de 1816, cuando las temperaturas bajaron tanto que en Nueva Inglaterra nevó en plena canícula. Por otro lado, el propio Tambora se queda en poca cosa en comparación con las erupciones verdaderamente épicas de la historia del planeta, como la de Yellowstone de hace 2,1 millones de años, que envió 2.500 kilómetros cúbicos de Wyoming a la estratosfera. (Este megavolcán algún día repetirá, cubriendo de ceniza buena parte de los Estados Unidos continentales.)

A finales del eón Hádico de la Tierra, que fue la era del vulcanismo, nuestro planeta ya había experimentado dos atmósferas distintas, una primera y exigua, formada sobre todo por hidrógeno y helio, y una segunda mucho más cruda, formada por el aliento de dragón de los volcanes. Esa última atmósfera, por supuesto, hace mucho tiempo que ha pasado: nuestros pulmones ya no crepitan y aúllan cada vez que respiramos. Pero todavía podemos experimentarla (mortalmente) en algunos lugares, de los que el ejemplo más espectacular es la extraña erupción que se produjo cerca del lago Nyos de Camerún el 21 de agosto de 1986.

## Interludio. Un lago explota



*Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), actualmente 400 partes por millón en el aire (y subiendo); inhalamos 500.000 billones de moléculas con cada aliento.*

Al principio sonó como una lucha más entre bandas. Las tierras altas volcánicas del oeste de Camerún siempre habían estado poco pobladas, en parte porque muchas tribus de la zona creían que la región estaba encantada. (Según una leyenda, un espíritu vengativo emergía por la noche del cercano lago Nyos y aterrorizaba a los pueblos de los valles.) Pero en la década de 1980 el suelo rico de la región, ideal para el cultivo de batata y alubias, había atraído a agricultores de varios grupos étnicos. A medida que crecía la población, aumentaba también la violencia y los tiroteos entre bandas. Por eso muchos de los residentes no hicieron mucho caso del *pum, pum, pum* que aquella noche de agosto de 1986, en la distancia, no parecía otra cosa que los habituales disparos.

Otros ruidos de aquella noche no eran tan fáciles de explicar: un rumor grave y un extraño borboteo. Una mujer ciega notó varias veces cómo se sacudía el suelo bajo sus pies, como si alguien temblara. No obstante, la mayoría no hicieron caso de los malos augurios y se fueron a dormir. Pero poco después de la puesta de sol, la tierra invocó de verdad algo maligno que salió del fondo del lago Nyos.

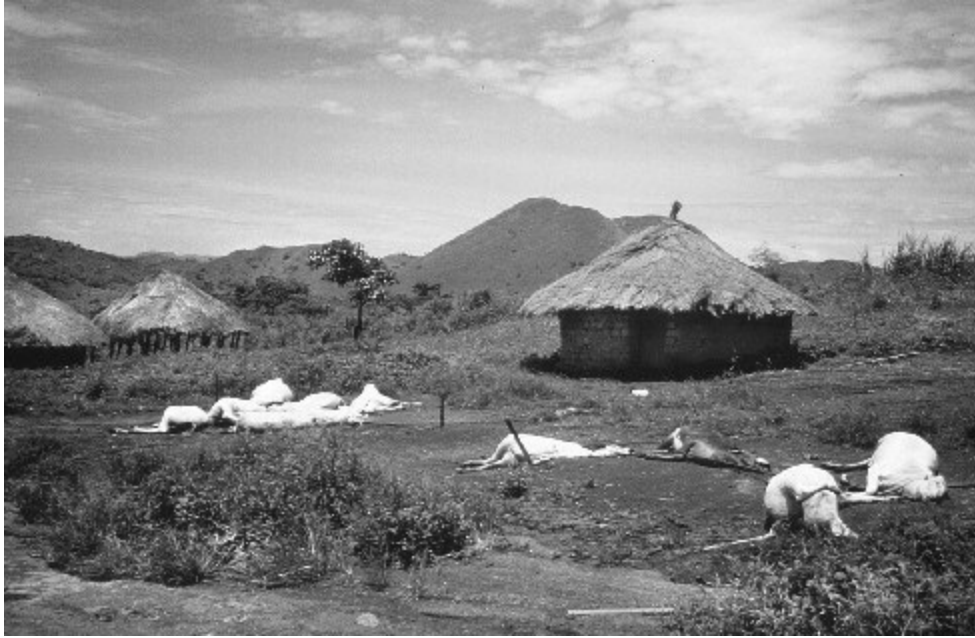
Hacia las nueve de la noche, el lago comenzó a regoldar grandes burbujas de dióxido de carbono. Las burbujas arrastraban consigo agua del fondo del lago, rico en hierro, lo que les confería una tonalidad rojiza, y al llegar a la

superficie estallaban, *pum, pum*. En total, escaparon más de doscientas mil toneladas de CO<sub>2</sub>, y hasta 70 metros de altura se irguió una fuente de agua y gas que rugió durante unos buenos veinte segundos.

En otras circunstancias, habría sido un espectáculo para admirar, un Old Faithful<sup>1</sup> del color de la sangre. Pero como el dióxido de carbono es tan pesado (un 50 por ciento más pesado que el aire) aquella enorme masa de gas se desplomó al nivel del suelo en lugar de dispersarse, formando una blanca nube de 45 metros de altura. Esta nube se deslizó entonces por las laderas que rodean el lago Nyos hacia los valles adyacentes, cogiendo velocidad a medida que descendía. Estos valles eran más fríos, y a medida que el vapor de agua de la nube se condensaba y caía, la masa de gas se tornaba invisible, perfecta para una caza nocturna.

A 65 kilómetros por hora, el miasma envolvió varios poblados en cuestión de minutos: Cha, Subum, Fang, Mashi. Familias enteras murieron asfixiadas mientras dormían en sus chozas de barro; otros cayeron mientras atendían el fuego para la cena. Algunos perdieron el conocimiento tan deprisa que no les dio tiempo siquiera de parar la caída con las manos, y sufrieron fracturas al golpear el suelo. Luego, a medida que el dióxido de carbono desplazaba el oxígeno en sus pulmones, se asfixiaron. Tres víctimas aquí, cuatro en la siguiente choza, seis más carretera abajo.

A la mañana siguiente, en el lago Nyos el nivel del agua había bajado casi un metro y su habitual superficie cerúlea tenía el aspecto de una oleosa piel de tigre: anaranjada con franjas negras. Milagrosamente, unas pocas personas de los poblados más alejados sobrevivieron, pero se levantaron con dolor de cabeza, náuseas y diarrea; muchos también con moratones por la presión por yacer inmóviles en la misma posición durante horas. Pero lo peor de todo fue el holocausto que presenciaron entonces: 1.746 personas muertas. Las víctimas mortales aumentaron durante los días siguientes por los suicidios de padres y abuelos desconsolados y los abortos de mujeres embarazadas. También murieron más de 6.000 vacas junto a todos los ratones, aves e insectos de la región. Los supervivientes recuerdan el inquietante silencio de los primeros días. No había ni siquiera moscas merodeando sobre los cadáveres.



*Vacas muertas cerca de unas chozas de barro tras la misteriosa «erupción» del lago Nyos el 21 de agosto de 1986. (Fotografía por gentileza del Servicio Geológico de Estados Unidos.)*

Los adivinos de la región declararon que se había vuelto a despertar un espíritu maligno del lago. Otros, menos supersticiosos (pero más paranoicos), atribuyeron las muertes a un ataque químico infligido por sus enemigos o a una prueba clandestina de una bomba de hidrógeno. Los científicos, en cambio, proponían una explicación más prosaica. A medida que se publicaban las primeras e incompletas noticias, geólogos de todo el mundo (pocos de los cuales habían oído hablar nunca del lago Nyos) comenzaron a llegar a Camerún, ansiosos por examinar aquel «lago que explota». No tardaron en determinar que el lago Nyos se encontraba encima de un volcán activo. (De hecho, este lago de cráter se había formado tras una erupción tan solo cuatrocientos años antes.) Como los volcanes a menudo emiten dióxido de carbono, el cráter era claramente la fuente del gas.

Sin embargo, los científicos no se ponían de acuerdo sobre mucho más. Se desató, sobre todo, una encendida polémica sobre qué había desencadenado la expulsión del gas. Algunos sostenían que todo el gas se había liberado durante una sola erupción; imaginaban Nyos como un monte Santa Helena en miniatura. Otros decían que no, que no había intervenido ninguna erupción, que el dióxido de carbono se había ido acumulando en el

fondo del lago Nyos durante cientos de años, escapándose lentamente por un respiradero volcánico. El peso del agua había mantenido el gas en el fondo durante algún tiempo, pero un deslizamiento de tierras, o quizá una lluvia intensa, había perturbado las aguas profundas, permitiendo que se escapara. Y otros más estaban de acuerdo con la acumulación gradual, pero discutían la idea de un desencadenante externo. Afirmaban en cambio que la bolsa de gas simplemente se había hecho demasiado pesada para las aguas que tenía por encima hasta que un desafortunado día había ascendido por fin a la superficie, igual que las efervescentes burbujas del champán.

Para acabar de confundir la situación, tanto los partidarios de la teoría de la erupción como los de la teoría de la acumulación podían aducir indicios a su favor. Algunos supervivientes recordaban un olor a huevos podridos y a pólvora sulfurosa antes de perder el conocimiento, unos olores asociados a las erupciones volcánicas. Por otro lado, no había ningún indicio firme de que se hubiera producido un deslizamiento de tierras o un inusual suceso climático que pudieran haber perturbado las aguas del fondo. Además, el estallido había liberado una gran cantidad de calor: la temperatura del lago Nyos había saltado de 23 a 30 °C justo después del suceso, y mantuvo la fiebre durante semanas. Por otro lado, un sismógrafo situado a unos ciento cincuenta kilómetros no había registrado ninguna actividad sísmica aquel día, lo que hacía improbable un movimiento de tierras. Y por sincero que pareciera, el testimonio de los supervivientes no es del todo fiable porque el envenenamiento con CO<sub>2</sub> provoca aturdimiento y ofuscación mental. Algunos científicos señalaron que el dióxido de carbono también puede producir alucinaciones olfativas, y que los miembros de los equipos de rescate podrían, sin quererlo, haber plantado algunas ideas en la cabeza de los residentes al preguntarles sobre gases sulfurosos durante los días que siguieron al desastre.

Al final, los dos bandos se separaron por nacionalidades: los geólogos franceses, italianos y suizos apoyaban la teoría volcánica mientras que los americanos, alemanes y japoneses se inclinaban por la teoría de la acumulación gradual. Un espectador se lamentaba de que «los que no somos expertos no podemos hacer mucho más que agitar la bandera nacional que más

nos guste». (Debo señalar que en la actualidad la mayoría de los expertos se decantan por la teoría de la acumulación gradual, pero como soy americano, supongo que es lo que me toca decir...)

La disputa no solo consigue que los científicos parezcan mezquinos, sino que podría poner en peligro la seguridad de la región en el futuro. Si se produjera otra erupción, los poblados que rodean el lago Nyos estarían más o menos condenados a repetir el desastre, puesto que los científicos no pueden predecir las erupciones, y menos aún prevenirlas. En cambio, podrían evitar la acumulación gradual de dióxido de carbono, sobre todo si se necesitan años para que se acumule el gas suficiente.

Tal vez por eso (al menos les da esperanza), la gente de Camerún se ha volcado en la teoría de la acumulación gradual y llevan veinte años intentando apaciguar el lago. Las autoridades del gobierno de Camerún comenzaron por debatir varias maneras de conseguirlo, entre ellas la posibilidad de tirar una bomba al fondo de Nyos. Por fin se decidieron por colocar unas balsas sobre la superficie desde las que desciende hasta el fondo un tubo de polietileno de 200 metros de longitud con la intención de que sirva de aliviadero para el gas. El proceso es sin duda espectacular: el agua sale disparada hacia el cielo, a veces hasta 45 metros de altura. Sin embargo, nadie sabe si servirá de algo. Incluso puede ocurrir que al trastear en el fondo del lago salga el tiro por la culata y desencadene un nuevo burbujeo catastrófico. Aún hoy, los científicos advierten a los visitantes de que no deben mover demasiado el agua si se meten en la orilla, no vaya a ser que despierten algo maligno.\*

Los supervivientes todavía ven recuerdos del desastre de 1986 aquí y allí. El agua del fondo del lago alimenta varios manantiales cercanos, y de vez en cuando encuentran una rapaz o un ratón rígidos junto a uno de ellos, sofocados por un súbito regüeldo de CO<sub>2</sub>. Muchos de los residentes afirman que los fantasmas de los muertos todavía visitan las orillas del lago Nyos. «A veces se les oye hablar», insistía un hombre.

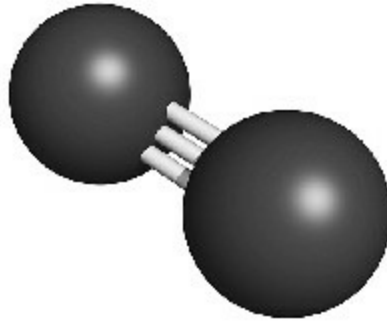
No decía, sin embargo, qué le contaban. Pero sus muertes, y los recuerdos de aquella funesta noche de agosto, son testigos de algo importante, algo que todos debemos contemplar. Aquella noche nos proporcionó un horrendo atisbo de lo que en otro tiempo fue la Tierra, un lugar donde enormes burbujas de gas venenoso estallaban a cada momento y se arrastraban por la



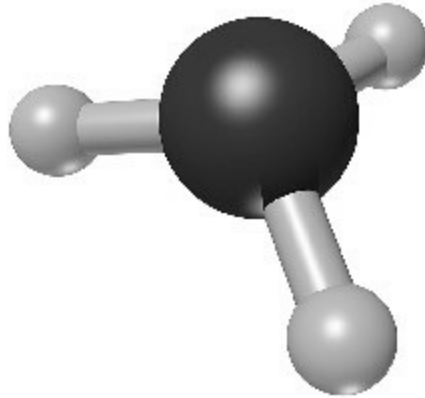
tierra como espectros sobrenaturales. Por encima de todo, el desastre de Nyos debería recordarnos lo afortunado que ha sido nuestro planeta por haber escapado del eón Hádico.

Pero ¿cómo pasamos de aquello a esto, del aire tóxico a una atmósfera confortable, que podemos respirar? La respuesta tiene varias partes, pero depende en buena medida del aumento del siguiente gas importante de la historia de la Tierra, el nitrógeno.

## El demonio en el aire



*Nitrógeno ( $N_2$ ), actualmente el 78 por ciento del aire (780.000 partes por millón); inhalamos 9.000 trillones de moléculas con cada aliento.*



*Amoniaco ( $NH_3$ ), actualmente 0,00001 partes por millón en el aire; inhalamos 100.000 millones de moléculas con cada aliento.*

Durante varios cientos de millones de años después de su nacimiento, la Tierra fue bastante inhóspita. Aun cuando uno pudiese encontrar un lugar donde estar sin quemarse las plantas de los pies, no habría podido respirar por culpa de los gases que los volcanes no dejaban de bombear. Lo sorprendente del caso es que, por perniciosos que fuesen a corto plazo, a la larga los volcanes redimieron nuestro aire bombeando gases ricos en nitrógeno.

Tres elementos (oxígeno, hidrógeno y carbono) constituyen el 93 por ciento del peso del cuerpo de los seres humanos, y el porcentaje es parecido en otras formas de vida. Las células también requieren docenas de otros elementos para funcionar, incluidas rarezas como el molibdeno. Salvo que algo vaya realmente mal, los animales y las plantas pueden tomar estos elementos de su entorno sin mayor dificultad.

La gran excepción es el nitrógeno. Es el cuarto elemento más abundante en nuestro cuerpo, hasta un 3 por ciento de nuestro peso. Y es, con mucho, el elemento más común en el aire, cuatro de cada cinco de las moléculas que respiramos día tras día. Así que obtenerlo para nuestras células debe ser fácil, ¿verdad? Pues no. Pese a su abundancia, la mayoría de los organismos tienen que esforzarse para agenciarse hasta el último átomo de nitrógeno que puedan conseguir. La razón es que las células de la mayoría de los organismos, humanos incluidos, no pueden utilizar el nitrógeno en su forma gaseosa. El nitrógeno tiene que convertirse primero en otra forma, y durante los primeros miles de millones de años de historia de la Tierra, solo unos pocos microbios especiales llegaron a dominar la magia necesaria para hacerlo.

A principios del siglo XX, sin embargo, *Homo sapiens* se convirtió en el primer organismo no bacteriano que entró a formar parte del panteón de los hacedores de nitrógeno. Los dos hombres responsables de la hazaña fueron alemanes, y los dos trabajaron como químicos industriales. Ambos fueron ensalzados como héroes nacionales por sus descubrimientos, y ganaron sendos premios Nobel. Ambos fueron más tarde condenados como criminales de guerra internacionales. Pero por mucho que los odiase la gente, lograron obligar al elemento 7 a salir del cielo para entrar en nuestros cuerpos. Es imposible contar la historia del aire sin explicar la magia química de Fritz Haber y Carl Bosch.



*El químico Fritz Haber, uno de los personajes más fáusticos de la historia de la ciencia.*

La alquimia del aire comenzó con un insulto. Fritz Haber nació en una familia germano-judía de clase media en 1868, y pese a tener un evidente talento para la ciencia, de joven acabó deambulando por distintas industrias (de tintes, de producción de alcohol, de obtención de celulosa, de producción de melazas) sin llegar a descollar en ninguna de ellas. Por fin, en 1905, una compañía austriaca le pidió a Haber (que para entonces ya se estaba quedando calvo y gastaba mostacho y quevedos) que investigase una nueva manera de producir el gas amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

La idea parecía simple. El gas nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) es muy abundante en el aire, y para obtener gas hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) basta con romper las moléculas de agua con la ayuda de la electricidad. Para producir amoníaco bastaría entonces con mezclar y calentar estos dos gases:  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$ . Y listo. Salvo que Haber se encontró con un dilema insuperable. Hacía falta una enorme cantidad de calor para romper las moléculas de nitrógeno y que pudieran reaccionar, pero ese mismo calor tendía a destruir el producto de la reacción, las frágiles moléculas de amoníaco. Haber pasó meses atascado hasta redactar un informe en el que concluía que el proceso era imposible.

El informe habría languidecido en el olvido (los resultados negativos no ganan premios) de no ser por la vanidad de un rollizo químico llamado Walther Nernst. Este gozaba de todo aquello que Haber codiciaba. Trabajaba en Berlín, el centro neurálgico de la vida alemana, y había hecho una fortuna con el invento de un nuevo tipo de bombilla. Pero lo más importante es que Nernst se había ganado el prestigio como científico al descubrir una nueva ley de la naturaleza, la tercera ley de la termodinámica. Las investigaciones de Nernst sobre termodinámica también habían permitido que los químicos lograsen hacer algo sin precedentes: examinar cualquier reacción (como la conversión de nitrógeno en amoníaco) para estimar la producción a diferentes temperaturas y presiones. Eso era de gran ayuda. En lugar de dar palos a ciegas, los químicos podían ahora *predecir* las condiciones óptimas para las reacciones.

Aun así, los químicos tenían que confirmar esas predicciones en el laboratorio, y ahí es donde se produjo el conflicto. Cuando Nernst examinó los datos del informe de Haber, declaró que aquellos datos de producción de amoníaco eran imposibles, un 50 por ciento demasiado altos, de acuerdo con sus predicciones.

Haber palideció al oír aquello. Ya era una persona de carácter intranquilo, con el corazón débil y tendencia a sufrir ataques de nervios. Y ahora Nernst amenazaba con destruir lo único que poseía: su reputación de excelente experimentador. Haber volvió a hacer sus experimentos con sumo cuidado y publicó nuevos datos más ajustados a las predicciones de Nernst. Las cifras, sin embargo, seguían siendo tozudamente altas, y cuando Nernst se topó con Haber en un congreso en mayo de 1907, dejó a su joven colega de vuelta y media delante de todos.

Lo cierto es que aquella disputa era una necedad. Ambos científicos estaban de acuerdo en que la producción industrial de amoníaco a partir de gas nitrógeno era imposible; simplemente, no estaban de acuerdo en el grado exacto de esa imposibilidad. Pero Nernst era un hombre mezquino, y Haber (que era del tipo caballeroso) no podía permitir aquel insulto a su honor. En contradicción con todo lo que había dicho antes, Haber decidió ahora demostrar que sí se podía producir amoníaco a partir de gas nitrógeno. No solo podría restregárselo a Nernst por su rolliza cara sino que, de lograrlo,

podría patentar el proceso y hacerse rico. Lo mejor de todo, sin embargo, era que dominar el nitrógeno convertiría a Haber en un héroe por toda Alemania, pues aquello le daría a su país lo único que le faltaba para convertirse en una potencia mundial: un suministro estable de fertilizante.

El amoníaco es la puerta de entrada a los fertilizantes, y no solo porque contenga nitrógeno, sino porque se encuentra en una forma que las plantas pueden utilizar. Para entender esta distinción, conviene saber algo más sobre los enlaces que mantienen unidos los átomos en las moléculas. La mayoría de estas contienen solamente enlaces simples (X-Y) o dobles (X=Y). En cambio, el gas nitrógeno invierte en un enlace triple ( $N\equiv N$ ), uno de los más fuertes y difíciles de romper de la naturaleza. (Romper todos los enlaces triples de tan solo 30 gramos de nitrógeno liberaría la energía suficiente para levantar un peso de 450 toneladas a unos 40 centímetros del suelo.) La fuerza de este enlace explica que el nitrógeno predomine en el aire actual. Como ya se comentó en el capítulo anterior, el nitrógeno no es más que un componente traza en la mayoría de las erupciones volcánicas, mucho menos común que otros gases que expulsan. Pero mientras que la mayoría de los gases volcánicos desaparecen con el tiempo, bien porque reaccionan entre sí, bien porque la luz ultravioleta los rompe, el enlace triple del nitrógeno resiste todo tipo de degradación. Esto es lo que permite que la minúscula fracción de nitrógeno de cada erupción se vaya acumulando con el tiempo. (También se formó  $N_2$  por descomposición del amoníaco de los humos volcánicos.) En otras palabras, el nitrógeno predomina en nuestro aire actual porque ha sobrevivido a todo lo que los volcanes escupieron.\*

La consecuencia a gran escala de esto es que la atmósfera de la Tierra cambió una vez más. Como se recordará, la segunda atmósfera estaba repleta de perniciosos gases expulsados por los volcanes. Pero hace unos dos mil millones de años, ya se había degradado una parte suficiente de aquellos gases y se había acumulado el nitrógeno suficiente para considerarla algo nuevo, la tercera atmósfera distinta del planeta (para quienes vayan contando). Lo crucial para la vida es que esta tercera atmósfera, rica en nitrógeno, es mucho más tranquila y confortable, pues el nitrógeno no ataca a las moléculas biológicas como sí lo hacen otros gases.

Sin embargo, en cierto sentido, el nitrógeno es *demasiado* tranquilo, demasiado pasivo. Nuestro cuerpo necesita una cantidad considerable de este elemento. Todas las proteínas de nuestro interior llevan una cadena de átomos de nitrógeno en su esqueleto, y todos y cada uno de los tres mil millones de bases de ADN de cada uno de nuestros 30 billones de células contiene varios átomos de nitrógeno. Pero cuando llega el momento de suplir el nitrógeno a nuestras células, nos encontramos con que el enlace triple de  $N_2$  hace que no sea reactivo. Es sin duda una cruel ironía. Vivimos en un mar de gas nitrógeno: tenemos sobre nuestras cabezas en todo momento varias *toneladas* de este gas, en suspensión entre el suelo y el espacio, pero no podemos usarlo. Es como morir de sed en medio del océano.

Entonces, ¿cómo sale el nitrógeno y llega a nuestro cuerpo? Algo tiene que «fijarlo», romper el triple enlace y convertirlo en una forma menos distante. Los rayos y relámpagos pueden fijar un poco de nitrógeno, creando en el aire compuestos de nitrógeno y oxígeno. Pero la gran mayoría del nitrógeno fijado se lo debemos a bacterias que contienen una enzima especial llamada nitrogenasa. Las enzimas son estructuras biológicas que permiten que se produzcan reacciones inusuales, y la parte funcional de la molécula de nitrogenasa es una protuberancia de átomos de hierro, azufre y molibdeno. Como si fueran una cizalla hidráulica en miniatura, estos elementos cortan uno a uno los tres enlaces. Hacerlo requiere una gran cantidad de energía, y de hecho produce un buen número de daños colaterales: cada vez se sacrifican 16 moléculas de agua. Pero al final la nitrogenasa rompe el  $N\equiv N$  y antes de que los nitrógenos corran a pegarse de nuevo, la enzima les suelda unos átomos de hidrógeno. Se forma así amoníaco, que solo contiene enlaces simples y, por lo tanto, puede convertirse en proteínas o ADN con bastante facilidad.

Las bacterias fijadoras de nitrógeno viven en las raíces de ciertas plantas, donde ofrecen su amoníaco a cambio de otros nutrientes, en simbiosis. Otros fijadores de nitrógeno trabajan por libre en el suelo, de donde los captan las plantas. Los animales y los hongos obtienen su nitrógeno comiendo esas plantas o alimentándose de los restos en descomposición de las plantas. (Se incluye aquí a los carnívoros apicales, en lo más alto de las cadenas tróficas, que en último término se alimentan de los herbívoros que comieron las plantas. Incluso las plantas carnívoras, como las droseras, se zampan a los

insectos básicamente para robarles el nitrógeno.) Al final, el nitrógeno que hay en el interior de prácticamente todos los organismos de la Tierra proviene de aquellas bacterias. Sin ellas, no existiría ni una sola planta o animal. Ni una. Y en la mayoría de los ecosistemas, la cantidad de nitrógeno del suelo establece un tope máximo a la cantidad de vida que se puede establecer.

No obstante, a lo largo de miles de años, los agricultores se las han ingeniado de varias maneras para saltarse este límite del suelo. Comenzaron por rotar los cultivos, incorporando plantas como la soja, cuyas raíces contienen montones de bacterias fijadoras de nitrógeno. También empezaron a esparcir purines y estiércol, productos de desecho que al descomponerse liberan nitrógeno utilizable. Los más espabilados enriquecían su estiércol con sangre y otra materia podrida. Estos montones de compost tenían el aspecto de grandes hogazas de pan moreno y desprendían calor; los campesinos sabían que la mezcla estaba lista para esparcirla cuando era un poco picante al gusto.

Con todo, los animales domésticos llegan a donde llegan con sus orines y sus defecaciones, y entrado el siglo XX, la mayoría de las naciones industrializadas tenían que buscar fuera de sus fronteras para satisfacer sus necesidades de nitrógeno. Gran Bretaña dependía fuertemente de la India, donde unos trabajadores pobres, de castas inferiores, procesaban el estiércol para la exportación a base de trabajar con los pies boñigas de vaca mezclada con purines hasta hacer una pasta. Otros países europeos comenzaron a minar vastos depósitos de guano (excrementos de aves) de varias islas alrededor del mundo. En poco tiempo, el comercio de guano de un conjunto de islas (las islas Chincha, en la costa de Perú)\* se hizo tan lucrativo que varios países sudamericanos se enzarzaron en guerras por el control de estas pilas de caca de pájaro. El guano también empujó a Estados Unidos a lanzarse al colonialismo a lo grande. En 1856 el Congreso aprobó la Ley de Islas Guaneras, que autorizaba a cualquier ciudadano del país a tomar posesión de cualquier isla deshabitada del mundo que tuviese algún depósito de guano. La ley sirvió de excusa a Estados Unidos para hacerse con cerca de un centenar de islotes del Caribe y el Pacífico. En muchos casos, se trataba de rocas dejadas de la mano de Dios que nunca habían llegado a nada, pero algunas, como las islas Johnston y Midway, les sirvieron para instalar bases militares



durante la segunda guerra mundial. Los aliados tal vez nunca habrían derrotado a Japón en el Pacífico de no ser por nuestra codicia por el guano un siglo antes.\*

Alemania, sin embargo, llegó tarde al saqueo de las buenas plazas guaneras. A diferencia de sus rivales europeos, hacía poco tiempo (desde la infancia de Haber) que había dejado atrás las perennes riñas tribales y se había unido en un único país. A consecuencia de ello, no había llegado a participar del reparto colonial de las tierras de Asia y América y tenía pocas colonias en las que explorar depósitos de guano de bajo coste. Para acabar de complicar el problema, Alemania tenía un suelo propio bastante pobre, que pedía a gritos abonos nitrogenados. A principios del siglo XX, importaba cada año 900.000 toneladas.

Pero por pobre que fuera el suelo, algo debía haber en el agua germánica que estimulaba el genio científico, pues fue a un químico alemán, en la década de 1840, a quien se le ocurrió la idea radical del fertilizante nitrogenado *artificial*, el abono químico. Hubieron de pasar varias décadas antes de que otros se lo tomaran en serio, porque el guano sudamericano corría a sus anchas. Pero hacia la década de 1890 la industria de los fertilizantes encaraba una crisis porque los mineros habían agotado los depósitos de Chíncha y otros lugares. Solo la ciencia podía impedir la hambruna. Y aquí es donde volvemos a Fritz Haber, un hombre de gran talento y una ambición que no conocía los límites del decoro.

Después de que Nernst lo humillara, Haber consiguió una contribución de una compañía química alemana llamada BASF para su proyecto de explorar varias tecnologías posibles para fijar nitrógeno. Una de ellas requería crear literalmente rayos en una botella, intensas chispas eléctricas en el interior de tanques de aire, con el fin de unir el nitrógeno con el oxígeno. Haber, sin embargo, prefirió centrarse en su vieja idea de unir nitrógeno con hidrógeno, en parte porque había puesto a punto un nuevo enfoque: aumentar la presión.

Tanto las altas presiones como las altas temperaturas facilitan las reacciones entre gases. A nivel molecular, aumentar la temperatura de un gas hace que sus moléculas se desplacen a mayor velocidad. (De hecho, eso es precisamente lo que mide la temperatura: el tempo molecular.) El brío que produce ese incremento de la velocidad permite que las moléculas se rompan

y recombinen más fácilmente, lo que ayuda a que se produzcan reacciones. Pero Haber sabía que aumentar la temperatura acabaría con el amoniaco, con lo que el aumento de la tasa de la reacción no serviría para nada. Por eso se centró en la presión. Una presión elevada hace que las moléculas entren en un contacto más íntimo, con más oportunidades para interaccionar e intercambiar átomos.

Varios científicos habían intentado ya aumentar la presión del nitrógeno y el hidrógeno por este motivo; uno, por ejemplo, había utilizado una bomba de bicicleta reconvertida. Pero esos equipos se quedaban miserablemente cortos respecto a lo que Haber proponía: presiones cientos de veces mayores que la atmosférica, capaces de aplastar un submarino moderno. Para conseguir tan altas presiones, Haber diseñó unos tubos de unos 75 centímetros de grosor hechos de cuarzo y reforzados con una camisa de hierro. De este modo logró reducir la temperatura de la reacción en varios cientos de grados y preservar más amoniaco.

Aparte de jugar con las temperaturas y las presiones, Haber se centró en un tercer factor, un catalizador. Los catalizadores aceleran las reacciones sin que ellos mismos sean consumidos; un ejemplo es el platino del sistema de escape de los coches, que desintegra los contaminantes. Haber conocía dos metales, el manganeso y el níquel, que aceleraban la reacción de nitrógeno e hidrógeno, pero solo funcionaban por encima de 700 °C, y esa temperatura acababa con el amoniaco. Así que decidió buscar nuevos catalizadores, para lo cual hizo pasar una corriente de estos gases a través de docenas de metales distintos para ver qué ocurría. Por fin dio con el osmio, el elemento 76, un metal quebradizo que en otro tiempo se usó en las bombillas. Reducía la temperatura necesaria solamente hasta unos 600 °C, pero bastaba para darle una oportunidad al amoniaco.

Usando las ecuaciones de su rival Nernst, Haber calculó que el osmio, usado en combinación con las camisas de alta presión, podía aumentar en un 8 por ciento la producción de amoniaco, un resultado por fin aceptable. Pero antes de restregárselo por la cara a Nernst, tenía que confirmar sus cálculos en el laboratorio. Fue así como en julio de 1909, tras varios años de malestar, insomnio y humillación, Haber conectó en cadena varios contenedores de

cuarzo sobre una mesa, abrió varias llaves de alta presión para permitir el paso de la mezcla de  $N_2$  y  $H_2$ , y, lleno de ansiedad, esperó a ver qué salía por el otro extremo.

Aún se hizo esperar: incluso con el osmio animándolo a hacerlo, al nitrógeno le cuesta romper sus enlaces. Pero por fin comenzó a gotear un poco de amoníaco por la boquilla de salida. Al verlo, Haber salió corriendo por los pasillos de su departamento, gritando a todos «¡Venid! ¡Venid a verlo!». Al final del experimento, había conseguido un cuarto de una cucharadita de amoníaco.

Más tarde consiguieron convertir aquello en todo un chorro: una taza cada dos horas. Pero incluso esa modesta producción convenció a BASF de la conveniencia de comprar la tecnología para implementarla a gran escala. Como solía hacer para celebrar un triunfo, Haber montó para su equipo una fiesta épica. «Cuando acabó», recordaría un ayudante, «solo conseguimos volver a casa en línea recta siguiendo las vías del tranvía».

El descubrimiento de Haber fue un auténtico punto de inflexión en la historia, a la altura de la primera vez que un ser humano desvió agua a un canal de riego o fundió un metal para fabricar herramientas. Como entonces dijeron algunos, Haber había convertido el aire en pan.

Con todo, el progreso realizado por Haber era principalmente teórico: había demostrado que se podía obtener amoníaco (y, por tanto, fertilizante) a partir de gas nitrógeno, pero la producción de su aparato a duras penas habría bastado para las tomateras de un huerto, así que mucho menos para alimentar a toda una nación como Alemania. Para llevar el proceso de Haber a una escala que permitiera la producción de toneladas de amoníaco hacía falta otro tipo de genio, uno capaz de convertir las ideas prometedoras en algo real y funcional. Ese no era un genio que poseyeran la mayoría de los ejecutivos de BASF, que solo veían en el amoníaco otro producto químico que añadir a su catálogo, un modo de aumentar un poco más sus beneficios. Pero el ingeniero de treinta y cinco años que pusieron al frente de su nueva división de amoníaco, Carl Bosch, tenía una visión más ambiciosa. Veía en el amoníaco algo que tal vez podría convertirse en la sustancia química más importante (y lucrativa) del

nuevo siglo, capaz de transformar la producción de alimentos en todo el mundo. Como pasa con todas las visiones que merecen la pena, esta era a un tiempo inspiradora y arriesgada.



*El químico Carl Bosch, el genio tras la producción de amoníaco.*

Bosch decidió abordar por separado cada uno de los problemas que planteaba la producción de amoníaco. Una de las cuestiones era obtener nitrógeno lo bastante puro, puesto que el aire contiene además oxígeno y otras «impurezas». En busca de ayuda, Bosch se dirigió al más inimaginable de los lugares: la compañía cervecera Guinness. Quince años antes, Guinness había desarrollado las máquinas de refrigeración más grandes del mundo, tan potentes que podían licuar el aire. (Como con cualquier sustancia, si los gases del aire se enfrían lo suficiente, se condensan en líquidos.) Bosch estaba más interesado en el proceso inverso: coger aire frío y licuado y pasarlo de nuevo a gas. Curiosamente, aunque el aire líquido contiene muchas sustancias distintas mezcladas, cada una de ellas tiene una temperatura de ebullición distinta. En el caso del nitrógeno líquido, esa temperatura es de  $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Así pues, todo lo que tenía que hacer Bosch era licuar un poco de aire con los refrigeradores de Guinness, calentar el líquido resultante hasta  $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$  y recoger los vapores de nitrógeno. Cada vez que vemos un saco de fertilizante, podemos agradecerérselo a la *stout* de Guinness.

El segundo problema era el catalizador. Aunque eficaz para acelerar la reacción, el osmio nunca habría funcionado en la industria: como mena, hace que el oro parezca barato y abundante, y comprar el osmio suficiente para producir amoniaco a las escalas que imaginaba Bosch habría llevado a la empresa a la bancarrota. Bosch necesitaba un sustituto barato, así que se metió a fondo en toda la tabla periódica, probando metal tras metal. En total, su equipo realizó veinte mil experimentos antes de decidirse por el óxido de aluminio y calcio mezclado con hierro. Haber, el científico, había buscado la perfección, el *mejor* catalizador. Bosch, el ingeniero, se conformaba con uno mediocre.

Sin embargo, el nitrógeno puro y unos catalizadores asequibles no servían para nada si Bosch no conseguía superar el mayor obstáculo: las enormes presiones que se necesitaban. Un profesor de la universidad me dijo en cierta ocasión que el equipo ideal para un experimento es el que se cae a pedazos en el momento en que se obtiene el último valor, lo que significa que uno ha perdido el mínimo tiempo necesario en mantenerlo. (Típico científico.) El equipo de Bosch tenía que funcionar durante meses sin fallar, a temperaturas lo bastante altas como para poner el hierro candente y a presiones veinte veces mayores que las de los motores de vapor de las locomotoras. La primera vez que los ejecutivos de BASF escucharon esas cifras, se les atragantaron; uno protestó explicando que un horno de su departamento que funcionaba solamente a una presión de siete atmósferas (una trigésima parte de lo que proponía Haber) había explotado el día anterior. ¿Cómo pretendía Bosch construir unas vasijas de reacción lo bastante resistentes?

Bosch respondió que no pretendía construir las vasijas él mismo, sino que se dirigiría a la compañía de armamento Krupp, fabricantes de legendarios cañones y artillería de campo. Picados por el desafío, los ingenieros de Krupp no tardaron en construirle el equivalente químico de la Gran Berta: unas vasijas de acero de dos metros y medio de altura y dos centímetros y medio de grosor. Bosch procedió a revestir las vasijas con hormigón para aumentar la protección frente a explosiones, lo que resultó ser una buena idea, puesto que la primera vasija estalló a los tres días de prueba. Pero, como comenta un historiador, «no se podía parar el trabajo solo por un

poco de metralla». El equipo de Bosch volvió a hacer las vasijas, añadiendo esta vez una capa de una sustancia química que impidiera que los gases calientes corroyeran el interior, e inventaron unas nuevas válvulas, bombas y sellos más resistentes, capaces de soportar los embates de las altas presiones.

Aparte de introducir estas tecnologías, Bosch ayudó a introducir una nueva manera de hacer ciencia. Tradicionalmente, la ciencia la habían realizado individuos o pequeños grupos en los que cada persona opinaba sobre todo el proceso. Bosch enfocó el problema más bien como una línea de ensamblaje, realizando docenas de pequeños proyectos en paralelo, de forma parecida a lo que, décadas más tarde, haría el Proyecto Manhattan. También como el Proyecto Manhattan, obtuvo resultados en un tiempo increíblemente breve, y a una escala que la mayoría de los científicos nunca hubiera creído posible. A los pocos años de las pequeñas gotas obtenidas por Haber, la división de amoníaco de BASF había erigido una de las fábricas más grandes del mundo, cerca de la ciudad de Oppau. La fábrica encerraba varios miles de kilómetros lineales de tuberías y cables, y para licuar los gases utilizaba máquinas del tamaño de un bungalow. Disponía de su propia red de ferrocarril para traer las materias primas, y una segunda para transportar a sus diez mil trabajadores. Pero tal vez lo más sorprendente de Oppau fuera que funcionaba y producía amoníaco a la velocidad que Bosch había prometido. A los pocos años, la producción de amoníaco se había doblado, y luego se dobló otra vez. Los beneficios crecieron aún más deprisa.

Pese al éxito, a mediados de la década de 1910, Bosch decidió que incluso él había albergado una visión demasiado modesta, así que empujó a BASF a construir una planta aún más grande y extravagante cerca de la ciudad de Leuna. Más vasijas de acero, más trabajadores, más kilómetros de tubos y cables, más beneficios. En 1920, la planta de Leuna, ya acabada, se extendía sobre una superficie de más de tres kilómetros de largo por uno y medio de ancho, «una nave tan grande como una ciudad», diría maravillado un historiador.

Oppau y Leuna dieron el pistoletazo de salida a la moderna industria de los fertilizantes, y desde entonces nunca ha ido a menos. Incluso en la actualidad, un siglo más tarde, el proceso de Haber-Bosch consume un 1 por ciento del suministro de energía de todo el mundo. Los humanos producimos

175 millones de toneladas de fertilizante de amonio cada año, y ese fertilizante sirve para obtener la mitad de la producción de alimentos del planeta. La mitad. Dicho de otro modo, una de cada dos personas vivas en la actualidad, 3.600 millones de personas, desaparecerían de no ser por Haber-Bosch. Dicho aún de otro modo, si nos mirásemos en un espejo, nos faltaría la mitad de nuestro cuerpo: uno de cada dos átomos de nitrógeno de nuestro ADN y nuestras proteínas todavía estarían dando vueltas inútilmente por el aire de no ser por el rencoroso genio de Haber y la enorme ambición de Bosch.

Cómo me hubiera gustado que la historia de Haber y Bosch acabase aquí, tan fácil y felizmente, con los dos químicos alemanes ensalzados como salvadores de la humanidad. Pero el orgullo y la ambición acabaron mancillando el triunfo de ambos.

El amoniaco hizo rico a Haber. Sus patentes le reportaban varios céntimos por kilo producido, y BASF no tardó en vomitar un Niágara de decenas de miles de toneladas al año. Pero Haber prácticamente dejó de lado las investigaciones sobre el nitrógeno en cuanto vendió sus derechos, valiéndose de su repentina fama para conseguir un puesto administrativo en el nuevo Instituto Kaiser Wilhelm de Berlín en 1911. Como director, podía codearse con los políticos y la realeza, y eso le encantaba. Incluso contribuyó a que Einstein fuera a trabajar a Berlín, y pese a sus opiniones políticas, diametralmente opuestas (Haber era conservador, Einstein liberal), llegaron a ser buenos amigos. Algo en Einstein hacía que a Haber le saliera el lado tierno. Cuando se rompió el primer matrimonio de Einstein y su esposa lo dejó llevándose a sus dos hijos, fue Haber quien hizo compañía a Einstein toda la noche mientras sollozaba.

Haber podía empatizar con Einstein en parte porque su propio matrimonio estaba haciendo aguas. Haber y su mujer, Clara, se habían conocido siendo estudiantes de química cuando él contaba dieciocho años y ella quince. Le propuso matrimonio quince años más tarde, tras invitarla a un congreso de química como excusa para verla. Pese al comienzo romántico, el matrimonio se aguantaba con dificultad, y a Clara no le gustó la idea de desarraigar su vida para mudarse a Berlín. También chocaban por el creciente patriotismo de Haber. Ya en su juventud había sido bastante *über alles*,<sup>1</sup> pero su nuevo trabajo lo puso en contacto con el káiser, y Haber cayó rendido

a sus pies. Un colega del trabajo sorprendió en una ocasión a Haber practicando reverencias por si acaso el káiser lo invitaba a almorzar algún día. Mientras miraba, Haber se echó para atrás y rompió un jarrón.

Cuando estalló la primera guerra mundial, Haber transformó su instituto en una pequeña plaza militar. Para ser justos, en privado Haber creía que la guerra era vana y los líderes militares unos tarados, pero concedía que ganar la guerra serviría para glorificar Alemania, de modo que se alistó en el ejército y comenzó a afeitarse la cabeza y vestir uniformes a medida para ir al trabajo. También valló su casa con alambrada de espino y redirigió sus investigaciones científicas hacia fines militares. Uno de sus proyectos tenía como meta desarrollar una gasolina que no se congelase en los inviernos rusos. Otro perseguía adaptar su proceso de producción de amoniaco para hacer explosivos. En el tercero, y peor de todos, Haber dirigió su conocimiento sobre los gases, que tantas horas le había costado, a crear un nuevo tipo de arma.

Aunque la guerra química con gases se remonta a varios miles de años (hasta los antiguos griegos, que usaban humos sulfurosos para expulsar a la gente de las ciudades-estado) los ataques con gases resultaban en general menos eficaces que, pongamos por caso, verter aceite hirviendo sobre el enemigo. Incluso durante los primeros meses de la primera guerra mundial, cuando Francia y Rusia atacaron Alemania con gases, los ataques casi siempre salieron mal: los gases que usaban los franceses se dispersaban con el viento antes de que los alemanes se dieran cuenta de que habían sido «atacados», mientras que los gases rusos se enfriaban, licuaban y condensaban inocuos sobre el lodo.

Aunque a Francia y Rusia les hubiera salido bien el ataque, los gases que utilizaban, todos ellos basados en el bromo, habrían hecho poco más daño que los actuales gases lacrimógenos. Haber tenía en mente gases más diabólicos basados en otro elemento, el cloro. Todos conocemos el cloro por la sal de mesa y las piscinas públicas, pero también forma un gas diatómico ( $\text{Cl}_2$ ) que, a diferencia del tranquilo gas diatómico del nitrógeno, es agresivo: sus átomos se mantienen unidos por un solo enlace que están más que dispuestos a romper para atacar a otros átomos. El cloro costaba céntimos por kilo en tiempos de



Haber, y como es más pesado que el oxígeno y el nitrógeno, cae al suelo cuando se libera en el aire. En consecuencia, las nubes de gas de cloro se introducirían en las trincheras en lugar de flotar y dispersarse.

Al principio, la división de guerra química del capitán Haber solo empleaba a diez químicos, un equipo modesto. Pero entre ellos había tres futuros premios Nobel, una temible concentración de talento. Incluso el antiguo rival de Haber, Nernst, intentó participar en el grupo, por el bien de Alemania, pero Haber lo echó a un lado, deseoso de arrogarse para él solo toda la gloria.

Otros químicos, sin embargo, no hallaban ni honor ni gloria en las investigaciones sobre los gases, entre ellos la propia esposa de Haber. Clara también era química (o lo había sido, hasta que sus obligaciones como *hausfrau* dieron al traste con su carrera), y le parecía que utilizar sustancias químicas como armas traicionaba la noble misión de la química, que era ayudar a la gente. Otros colegas tenían objeciones más pragmáticas. El premio Nobel Emil Fischer esperaba que Haber fracasara «desde el fondo de su patriótico corazón» porque comprendía que si tenía éxito, los franceses y los británicos responderían con sus propias armas de cloro.

Haber defendía, en cambio, que los aliados nunca tendrían ocasión para la represalia. No porque el cloro fuese tan letal, pues sabía que, pese a su toxicidad, nunca mataría más que una pequeña fracción de las bajas que produciría el acero. El verdadero valor táctico del gas, decía, era el terror: los soldados enemigos, al ver las verdes nubes de cloro cargando contra ellos, huirían despavoridos, abandonando las trincheras y dejando el frente libre para el asalto germánico. Un ataque con gas bien planeado, se jactaba, podía proporcionar la victoria en la guerra. ¡A la larga incluso *salvaría* vidas!

Con vistas a este noble fin, Haber estaba dispuesto a soportar algunas bajas a corto plazo. En diciembre de 1914, un miembro del equipo de guerra química perdió su mano y otro murió cuando explotó un tubo de ensayo. Haber lloró desconsoladamente en el funeral, pero se negó a suspender las pesquisas. Más tarde, durante una prueba de campo, el propio Haber casi se asfixia al entrar a lomos de su caballo en un área contaminada. Pese a esta experiencia de primera mano con el gas, o tal vez a causa de ella, le faltó tiempo para

lanzar el gas de cloro sobre el enemigo; tuvo por fin su ocasión en Ypres (en la actual Bélgica) en la primavera de 1915, durante la cruelmente bautizada Operación Desinfección.



*Vista aérea del primer ataque exitoso con gas durante la primera guerra mundial, cerca de Ypres, el 22 de abril de 1915.*

Como Bosch con el amoníaco, Haber planeó su asalto con gas a una escala que nadie había concebido antes: 5.730 botes con un total de 168 toneladas de cloro. Cada bote se enterró bajo el suelo, con un tubo que serpenteaba hasta la superficie. Vientos contrarios retrasaron la liberación del gas durante semanas, pero el 22 de abril, justo cuando los generales alemanes comenzaban a perder la paciencia, la brisa por fin giró a su favor. A las cinco de la tarde unas tropas entrenadas para este propósito se arrastraron hacia el frente y abrieron las válvulas. *Hisssss*. Un verde nubarrón de quince metros de altura y siete kilómetros de largo comenzó a desplazarse hacia las líneas francesas y canadienses.

Cuando el cloro entra por la nariz, induce un reflejo que lleva a contener el aliento. Tarde o temprano hay que respirar, y entonces los átomos de cloro invasores reaccionan con el agua de la boca, la garganta y los pulmones formando ácido clorhídrico (HCl) y ácido hipocloroso (HClO). Estos ácidos desgarran los capilares de los pulmones y arrancan el revestimiento de los alvéolos, los pequeños sacos donde se absorbe el oxígeno. Hay mucho tejido que atacar allí (si se desplegaran completamente, los pulmones cubrirían una pista de tenis) y los fluidos de los capilares y alvéolos rotos comienzan

entonces a acumularse, bloqueando el flujo de oxígeno hacia los pulmones, de modo que a cada segundo se hace un poco más difícil respirar. En esencia, las víctimas se ahogan en tierra seca.

Aquel día, las tropas francesas y canadienses reaccionaron primero con asombro, pues nunca habían presenciado una neblina verdosa. Pero tras el primer aliento, el asombro se transformó en terror. Los caballos, aterrorizados, echaron a correr sacando espuma por la boca. Los soldados de infantería los siguieron, carraspeando y tambaleándose, despojándose del fusil e incluso de su uniforme mientras huían. No tardó en romperse la línea entera y, tal como Haber había predicho, las trincheras quedaron libres. Por desgracia para Alemania, los temores de Haber sobre la estupidez de los altos mandos germanos resultó ser igualmente profética. Como no creían que el ataque fuese a tener éxito, los generales alemanes no habían dispuesto tropas para aprovechar la oportunidad, y no enviaron ni una unidad de apoyo. Aunque las estimaciones de las bajas son muy variadas, aquel día probablemente se asfixiasen miles de hombres, y para nada, pues los alemanes apenas ganaron terreno.

No obstante, a los generales alemanes les gustó lo que vieron, de manera que ordenaron un segundo ataque con gas unos días más tarde. Tampoco este les hizo ganar mucho terreno, pero de todos modos ascendieron a Haber y dispusieron las cosas para un ataque parecido en el frente oriental contra Rusia.

De camino entre Francia y Rusia, el capitán Haber paró en su casa unos pocos días. Pronto deseó no haberlo hecho. Clara se le enfrentó, exigiéndole que renunciase a sus investigaciones sobre los gases. Haber se negó. Al contrario, pretendía hacer una fiesta para celebrarlo, igual que había hecho tras vender la receta del amoníaco a BASF.

Clara aguantó el tipo durante la fiesta, pero en cuanto se fueron los invitados, se encontró sola. Haber se había tragado unas pastillas para dormir y se había abandonado a un sueño ebrio, y en aquella repentina quietud, Clara tomó una decisión. Primero escribió unas cuantas misivas y puso en orden sus asuntos terrenales. Entonces le sustrajo a su marido su pistola reglamentaria y salió con sigilo al jardín. Disparó al aire un tiro de prueba antes de dirigir la

pistola hacia su pecho. Su hijo de trece años, Hermann, bajó corriendo las escaleras y apenas tuvo tiempo de despedirse de ella antes de que expirase. (Años más tarde el propio Hermann se suicidaría también.)

A la mañana siguiente, Haber dejó salir su parte sentimental, lloró sobre el cuerpo de Clara y se declaró devastado. Por mal marido que fuera, nunca había dejado de querer a la chica de la que se había enamorado con dieciocho años. Pero el patriota que había en él ahogó todas aquellas emociones y partió para Rusia antes incluso de que se celebrase el funeral. (En 1917 Haber se casó con una mujer mucho más joven y comenzó una nueva familia. Llevó un salacot durante la ceremonia.)

Como era de esperar, los franceses y los británicos no tardaron en desarrollar su propio gas para usarlo como represalia. Y como represalia por la represalia, el equipo de Haber, que había crecido hasta los quinientos científicos hacia el final de la guerra, desarrolló agentes aún más perniciosos, como el gas mostaza y el fosgeno. (Si el cloro huele a piscina, el gas mostaza huele a rábano y el fosgeno a heno.) Para defenderse de estas nuevas amenazas, no tardaron en dotarse las tropas de ambos bandos de máscaras antigás; en caso de emergencia, los soldados también podían orinar en un pañuelo y taparse con él la boca, pues las sustancias químicas que contiene la orina neutralizaban los agentes del gas. Pero por eficaces que fuesen para prevenir los daños en los pulmones, las máscaras no podían neutralizar el terror que provocaba el gas. Para los soldados de las trincheras, cualquier olor desconocido que trajese la brisa, aunque fuese un aroma floral de la primavera, podía augurar una nueva y peor manera de morir. Lejos de acabar con la guerra, los gases de Haber empeoraron aún más el callejón sin salida.\* Pese a sus ventajas científicas, Alemania acabó agotándose y se desmoronó en 1918. (Irónicamente, uno de los problemas fue la falta de alimento y fertilizante porque los militares se habían apropiado de la mayor parte del amoniaco para hacer explosivos.) Sin embargo, incluso después de finalizado el derramamiento de sangre, las hostilidades continuaron. Francia había sufrido más que ningún otro país durante la guerra, y durante las negociaciones de paz que se celebraron en Versalles, los líderes franceses se mostraron decididos a herir a Alemania. Exigieron el equivalente de cincuenta mil

toneladas de oro como indemnización, una cantidad equivalente a dos terceras partes de las reservas de oro de todo el mundo en aquella época. (A modo de comparación, Fort Knox alberga aproximadamente cinco mil toneladas.)

La comunidad científica también tenía que arreglar sus cuentas, y los científicos de varios países denunciaron a Haber como criminal de guerra por sus investigaciones sobre los gases. A Haber aquello le parecía absurdo, y con cierta razón. Los ataques con gas causaron 1,25 millones de bajas durante la guerra, pero solo 91.000 muertes, apenas un 1 por ciento de los 8,5 millones de soldados que murieron en el campo de batalla. ¿Por qué condenarlo a él y no a quienes fabricaron armas y munición? No obstante, a medida que el clamor contra él se hacía más fuerte, Haber huyó de Alemania a Suiza, donde pagó un soborno por la ciudadanía y (de forma un tanto ridícula) se dejó crecer una barba para disfrazarse. Ningún país lo denunció formalmente, pero durante el resto de su vida a Haber le siguió la mácula de los crímenes de guerra, como si de un tufo de cloro se tratase.

Aún hoy, los historiadores no saben muy bien cómo tratar a Haber. Su receta del amoníaco salvó de la inanición a millones de personas durante su vida, y aún en nuestros días sirve para alimentar a miles de millones. Eso lo convierte en un auténtico icono de la ciencia, a la altura de los que desarrollaron las vacunas. También inventó algunas de las armas más terroríficas de la historia, y no solo eso, sino que las lanzó contra otros seres humanos con regocijo. Aún pueden sentirse los latigazos morales. Las cosas aún empeoraron en 1919, cuando Haber fue galardonado con el premio Nobel de química. Aquello estableció de una vez por todas su estatus como genio científico, pero a causa de las protestas públicas, no se le permitió recibir su medalla en la ceremonia oficial. Hubo de esperar seis meses, y el rey de Suecia no se la entregó personalmente.

Aquellos desaires no preocuparon a Haber. Lo había hecho todo por su patria, y aquello lo justificaba todo. De hecho, siguió entregándose en cuerpo y alma a su país después de la guerra. Para reducir la carga de las indemnizaciones, intentó extraer oro del agua del mar, estableciendo para ello laboratorios secretos en barcos de pasajeros para recoger muestras. Parecía una locura, pero también lo había sido la idea de extraer fertilizante del aire.

También siguió trabajando en la guerra química de manera furtiva, asesorando a España y a la Unión Soviética. Encubría este trabajo bajo la excusa de investigar la manera de destruir las reservas de gas existentes, o transformarlas en insecticidas. Pero si alguien dudase de su compromiso con la guerra química, o de su falta de remordimiento, le hubiera bastado con visitar su estudio, donde guardaba enmarcado un reportaje de un periódico, supuestamente firmado por el káiser, sobre el primer ataque con gas saldado con éxito en Ypres.

Carl Bosch tampoco tuvo una vida fácil después de la primera guerra mundial. Tras la rendición de Alemania en 1918, las autoridades francesas exigieron el derecho a «inspeccionar» los *ammoniawerk* de BASF, supuestamente para cerciorarse de que Alemania había dejado de producir explosivos, pero en realidad con la intención de robar la tecnología de Bosch. Sin embargo, cada vez que unos inspectores llamaban a la puerta, Bosch pedía a sus trabajadores que dejaran las herramientas y apagaran las máquinas para que los franceses no pudieran verlas en acción. Además, los trabajadores de Bosch parecían sufrir de una tremenda mala suerte durante las inspecciones. Justo antes de que llegasen los inspectores, siempre se averiaba alguna válvula o algún indicador fundamental, y las escaleras necesarias para alcanzar algunas máquinas desaparecían misteriosamente. En una ocasión, desapareció un tramo entero de escaleras. Bosch nunca les negó el paso a los inspectores, pero consiguió convertir cada visita en una farsa.

Frustrados y enojados, los inspectores llamaron a Bosch, quien para entonces había ascendido a un puesto de ejecutivo en BASF, a las conversaciones de paz en Versalles, donde la tecnología del amoniaco era un importante punto de discusión. A su llegada, Bosch y varios de sus colegas fueron encerrados en un hotel rodeado de una alambrada de espino. Tras unos cuantos días de «negociación», Bosch comprendió que de un modo u otro tendría que ceder la tecnología del amoniaco. Con la intención de conseguir el mejor acuerdo, una noche se arriesgó a ser arrestado y escaló la alambrada para asistir a una reunión clandestina con unos fabricantes franceses. Allí firmaron un pacto para ayudar a construir una planta en Francia, con la condición de que los franceses dejaran en paz a BASF.

No fue así. A principios de la década de 1920 los pagos de las indemnizaciones habían ahogado a la economía alemana: llegó un momento en que una hogaza de pan costaba mil millones (sí, un uno seguido de nueve ceros) de marcos alemanes. Al final el gobierno alemán dejó de pagar y suplicó que le concedieran más tiempo. La mayoría de las naciones estuvieron de acuerdo, pero Francia decidió ocupar las plantas de BASF en Alemania a modo de pago. Cuando Bosch ordenó de nuevo a sus trabajadores que apagaran las máquinas, el gobierno francés lo imputó y sentenció en ausencia a ocho años de cárcel. Así pues, de los dos hombres que están detrás del proceso Haber-Bosch, solo uno acabó siendo un criminal de guerra convicto.

Bosch recuperó cierto respecto internacional en 1931, cuando también ganó el premio Nobel de química. El galardón sorprendió a muchos porque Haber ya lo había ganado por sus investigaciones sobre el amoníaco, pero el comité del premio Nobel lo distinguió sobre todo por sus logros en la química de altas presiones. Era apropiado que fuera así, pues para entonces Bosch casi había abandonado las investigaciones sobre el amoníaco. BASF (ahora controlada por una compañía llamada I.G. Farben) siguió fabricando amoníaco, pero a medida que empresas de otros países obtenían la licencia de la tecnología (o la robaban), los beneficios se iban mermando. Por ello, Bosch había redirigido su conocimiento sobre la química de altas presiones a un nuevo campo, el petróleo y la producción de gasolina.

Por aquel entonces, a mediados de la década de 1920, el petróleo parecía estar agotándose en el mundo. (¡Ja!) Los primeros pozos habían dejado de fluir, y compañías como BASF/Farben se afanaban en desarrollar alternativas sintéticas. Bosch se fue convenciendo de que el carbón licuado y refinado en forma de gasolina era la mejor opción; sin embargo, el trabajo resultó ser más complejo de lo que había imaginado. Los científicos clasifican los líquidos y los gases como *fluidos* porque ambos fluyen bajo presión. Pero los líquidos ofrecen mucha más resistencia al flujo que los gases; para verlo basta con agitar la mano en el agua o en el aire. El carbón líquido resultó ser especialmente alquitranado, y obturaba todos los tubos y válvulas que Bosch probaba.

Y lo que es peor, los buscadores de petróleo de Oklahoma y Texas hicieron algunos de los mayores descubrimientos de petróleo de la historia en la década de 1920. Cuando el precio del petróleo comenzó a caer a lo largo de la década siguiente, Bosch comprendió que nunca lograría reducir el coste de la producción de carbón líquido lo bastante como para competir. Por desgracia, Bosch (entonces director de Farben) ya había apostado el futuro de la compañía a la gasolina sintética. Apremiado por el riesgo de bancarrota, comenzó a buscar contratos con el gobierno para conseguir dinero del modo que fuera. Eso lo condujo a Adolf Hitler.

La verdad sea dicha, a Bosch los nazis lo horrorizaban, y especialmente su «ley para la restauración de la función pública», que en abril de 1933 purgó la administración de judíos. En tanto que empresa privada, Farben podía retener a sus empleados judíos, y así lo hizo; además, Bosch ayudó a muchos otros judíos a encontrar trabajo fuera del país. Al mismo tiempo, sin embargo, se reunió en privado con Hitler y se dejó cautivar por el discurso del Führer sobre los automóviles y su deseo de garantizar una buena fuente aria de gasolina sintética. (Hitler también quería combustible para su creciente ejército, pero se guardó mucho de decírselo a Bosch.) Durante la reunión, Bosch le pidió a Hitler que permitiera que se quedaran algunos científicos judíos, pero su apelación a la decencia de Hitler fue tan bien como cabía esperar. «Si los judíos son tan importantes para la física y la química», bramó Hitler, «tendremos que apañarnos sin física y química durante cien años». Bosch, todo disculpas, se echó atrás, y para enmendarse alabó el régimen nazi en la prensa y asistió a manifestaciones ondeando banderitas con la esvástica y respondiendo a los saludos de *Sieg Heil*. Farben recibió sus contratos para combustible y el mundo recibió la guerra.

Hacia el final de la contienda, las fábricas diseñadas por Bosch suministraban una cuarta parte de la gasolina en Alemania. Hitler las consideraba tan importantes para el Reich que las rodeó con el mejor sistema de defensa con misiles de toda Europa; ni siquiera Berlín estaba mejor protegido. Sin duda, Bosch hizo posible el *blitzkrieg* nazi, tanto por el desarrollo de la tecnología para licuar carbón como, muy especialmente, por garantizar que los nazis tuvieran prioridad absoluta en el suministro.



Para ser justos, Bosch no se comportó peor que sus colegas de otras industrias, quienes suministraron a los nazis armas, motores o caucho. En cambio, queda en bastante mal lugar en comparación con sus compañeros científicos. Einstein, Max Planck, Nernst y otros premios Nobel, la mayoría de los cuales habían apoyado sin reservas a Alemania durante la primera guerra mundial, se negaron a doblegarse ante Hitler. Incluso Haber, que siempre había ansiado presenciar el renacer de Alemania, denostaba a los nacionalsocialistas. De hecho, justo cuando Haber parecía haberse labrado una reputación de réprobo, su determinación a plantarle cara a Hitler lo redimió un poco.

Como director de un instituto estatal, Haber se vio en la obligación de despedir a todos sus empleados judíos en abril de 1933, lo que representaba una pérdida enorme: los judíos eran solo el 1 por ciento de la población alemana pero el 20 por ciento de los científicos. Pese a su herencia judía, el propio Haber conservó su puesto (la ley eximía a los veteranos de la primera guerra mundial), y durante semanas intentó racionalizar su decisión de quedarse, diciéndose que la locura de los nazis pasaría. Pero el 30 de abril dejó de mentirse a sí mismo y redactó una conmovedora carta de dimisión. «Durante más de cuarenta años he seleccionado a mis colaboradores de acuerdo con su inteligencia y su carácter», escribió, «no de acuerdo con sus abuelas». Su dimisión fue titular en toda Alemania y abochornó a Hitler en no poca medida; a diferencia de Einstein, por ejemplo, nadie podía tachar a Haber de pacifista sentimental.

Pero los titulares no le valieron de consuelo a Haber. Tras haberse entregado en cuerpo y alma a Alemania, ahora su país le respondía con una patada. Desconsolado, dispuso las cosas para emigrar a Suiza y comenzar de nuevo, pero los nazis aún le propinaron una última puñalada en la espalda cuando le confiscaron la fortuna que había amasado gracias a sus investigaciones sobre el amoniaco. Desposeído, comenzó a buscar trabajo en otros países, pero no recibió ninguna oferta. Pese a su premio Nobel, pese a haberse alzado contra Hitler, nadie podía pasar por alto el hedor a guerra química que despedía. Por fin consiguió un puesto no pagado en la Universidad de Cambridge, pero cuando llegó allí, Ernest Rutherford, el gran patriarca de la ciencia inglesa, se negó a darle la mano.

Amenazado por la ruina, Haber apeló a un último colega, Carl Bosch. Aunque no eran amigos, Bosch había expresado a menudo su gratitud hacia Haber y en una ocasión había prometido ayudarlo si alguna vez lo necesitaba. «Tomé muy en serio sus palabras», le escribió Haber a Bosch en 1933. «¿Podría conseguir usted que viviese mis últimos años... en paz y dignidad?» Bosch nunca le respondió. Sin más opciones, Haber intentó trasladarse de nuevo, esta vez de Inglaterra a Palestina, pero su corazón le falló durante el tránsito, en enero de 1934. Su último y sentimental deseo fue que lo enterrasen junto a Clara.

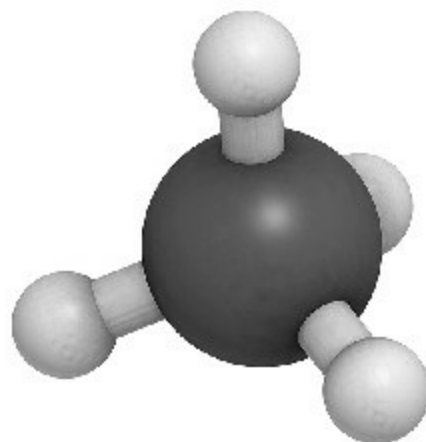
La noticia del patético final de Haber\* se extendió por toda Europa, y cuando llegó el primer aniversario de su muerte, su viejo amigo Max Planck decidió celebrar una ceremonia pública en su honor. Las autoridades nazis le advirtieron de que lo cancelase, pero él alquiló un auditorio con capacidad para quinientas personas. La noche del evento, Planck se desesperó ante la escasez de público, en su mayoría esposas de otros científicos demasiado temerosos de asistir. Los pocos invitados que había en la sala parecían estar separados por decenas de metros. Al final, el público creció un poco cuando entró un grupo de antiguos compañeros de guerra de Haber. Y tal como había pasado con la producción de amoníaco unas décadas antes, el goteo se convirtió en torrente tras la entrada de Carl Bosch. Sin duda sintiéndose culpable, Bosch había reclutado público entre los empleados de BASF. Llenaron hasta el último asiento, y los rezagados tuvieron que quedarse de pie en el fondo.

Tal vez por coincidencia, tal vez no, Bosch comenzó a alzar la voz contra los nazis, aunque con cautela, después de la ceremonia en honor de Haber. Por desgracia, también empezó a darse a la bebida y tal vez a abusar de los analgésicos. El punto álgido se produjo cuando pronunció, borracho y casi ininteligible, un discurso en defensa de la libertad de pensamiento en la inauguración de un museo y no consiguió otra cosa que ponerse en evidencia. Finalmente, Farben le facilitó un retiro a finales de la década y siguió incrementando la producción de gasolina sintética para Hitler. Bosch murió en 1940, cuando Alemania todavía estaba en su espiral ascendente, pero no se

hacía ilusiones sobre el futuro, que veía negro. «Es un terrible don el de prever el futuro», dijo hacia el final de sus días. «El trabajo de toda mi vida quedará destruido.»

Con todo, el futuro fue más amable con Bosch de lo que él imaginaba, aunque no a corto plazo. Sus magníficas e inacabables fábricas, que ya trabajaban día y noche para la Wehrmacht cuando falleció, sufrieron grandes daños durante la segunda guerra mundial al convertirse en dianas principales de los bombardeos aliados. Y la compañía que construyó se convirtió en paria tras la guerra por su colaboración con los nazis. Pero en un sentido más importante, el trabajo de toda la vida de Bosch nunca quedó destruido. Continúa hoy, creciendo incluso, probablemente hasta el fin de la civilización. Pese a todos sus fallos, Bosch y Haber averiguaron cómo transformar nuestro propio aire en alimento, y no es exagerado decir que los seres humanos nunca antes habían concebido una reacción química más importante.

## Interludio. Un arma peligrosa



*Metano (CH<sub>4</sub>), actualmente dos partes por millón en el aire; inhalamos 25.000 billones de estas moléculas con cada aliento.*

El siguiente gas importante que aparece en la historia de nuestra atmósfera es el oxígeno (O<sub>2</sub>), que comenzó a acumularse hace unos dos mil millones de años. Pero antes de ocuparnos de él, conviene que sepamos por qué es el oxígeno un gas tan importante. En pocas palabras, porque es un instigador: pone en marcha muchos tipos distintos de reacciones químicas que de otro modo no se producirían. Una de esas reacciones es la combustión. En su forma pura, el oxígeno puede provocar incluso la combustión de metales, algo que a un criminal de Alemania de finales del siglo XIX le dio una idea para un audaz golpe.

Aquel criminal era a partes iguales estafador, ladrón y emprendedor científico. Unos pocos días antes de las Navidades de 1890 un hombre que se hacía llamar Smith se registró en un hotel situado sobre el Banco de la Baja Sajonia en la ciudad alemana de Hannover. Engatusó al recepcionista para que le diera una habitación concreta (quizá le dijera que deseaba tener cierta vista) además de las dos habitaciones contiguas. (Para su hermana y su padre, que estaban de camino.) Entonces se retiró para dormir, sin duda con cuidado de evitar cualquier tintineo en su equipaje mientras subía las escaleras.

Tras varios días aguardando el momento oportuno, a una hora muy temprana del día de Navidad, Smith extrajo de su maleta un paraguas y una sierra y practicó un pequeño agujero en el suelo. No había nadie en el banco, bajo el suelo, así que introdujo el paraguas por el agujero y lo abrió para

recoger lo que cayera, y practicó un agujero más grande. Entonces rebuscó en su maleta hasta dar con una escalera de cuerda por la que descendió, cargando con un saco al hombro.

Entonces comenzó el robo. En lugar de contratar a un guarda para proteger los siete millones de marcos alemanes de su cámara acorazada, el banco había instalado un moderno sistema electrónico de seguridad. La cámara acorazada estaba en el sótano y solo podía accederse a ella por una escalera de caracol, de manera que los responsables del banco habían conectado la escalera a una alarma: la menor presión, un solo paso, bastaba para disparar las bocinas. Pero Smith lo tenía estudiado y sabía que bastaba con desatornillar unos pocos cables eléctricos conectados con los peldaños. Con la alarma neutralizada, bajó tranquilamente por las escaleras.

Entonces le llegó el turno a la ciencia. En el sótano, Smith sacó de su saco varias botellas metálicas de oxígeno. También extrajo una herramienta larga y delgada formada por dos cilindros de metal de unos cuarenta y cinco centímetros de longitud y algo más de un centímetro de diámetro; de uno de los extremos de cada uno de estos cilindros colgaba un tubo de goma. Uno de los tubos lo conectó a la conducción de gas para la iluminación del banco, que transportaba una mezcla rica en metano ( $\text{CH}_4$ ). El otro tubo lo conectó a una de las botellas de oxígeno. Esperó a que el gas silbara, y entonces extrajo una última cosa de su saco: una caja de cerillas. Con la boquilla de su soldador encendida, dirigió la llama a la cámara acorazada.

Varios químicos, sin quererlo, habían sentado las bases de este crimen durante el siglo anterior al conseguir explicar el cómo y el porqué de la combustión. Tal vez lo más importante fuese el descubrimiento de que la combustión requiere tres elementos: combustible, energía y lo que se conoce como un oxidante. Los oxidantes roban electrones de otras sustancias, lo cual es importante porque los electrones intervienen en todas las reacciones químicas; en esencia, la química es el estudio de cómo los átomos roban, ceden o comparten electrones. Tal como sugiere su nombre, el oxígeno es un magnífico oxidante, y al robar electrones del metano, que en este caso hace el papel de combustible, el metano se torna inestable. El metano inestable y el oxígeno reaccionan entonces de forma explosiva, sufriendo una serie de rápidos cambios químicos que finalmente producen unos compuestos llamados

óxidos (como el dióxido de carbono). El oxígeno no comienza a atacar el combustible sin una entrada inicial de energía, de ahí la cerilla, pero en cuando el ataque comienza, las reacciones que se producen liberan más calor, y el proceso se torna autosustentable.

Eso es la combustión en pocas palabras: se le da algo de energía al oxígeno, se le deja que ataque un combustible y se aparta uno un poco. Pero Smith todavía tenía que dar un paso más, porque aunque ya tenía la llama de metano ardiendo, todavía tenía que cortar la cámara acorazada.

Para entender este paso, podemos dirigirnos al célebre químico francés Antoine-Laurent Lavoisier, quien en 1776 descubrió una curiosa propiedad del hierro. Todos los metales se funden a una temperatura determinada, pero entran en combustión a una temperatura distinta. («Combustión» quiere decir aquí lo mismo que antes, que el metal actúa como combustible y se quema.) En la mayoría de los metales, la temperatura de fusión es menor que la de combustión, pero el hierro se comporta al revés. Se quema a unos 980 °C mientras que se funde a unos 1.535 °C. Pero en esta peculiaridad se esconde una inesperada ventaja. Como sabemos, la combustión libera calor. Así que imaginemos una llama lo bastante caliente como para alcanzar los 980 °C e iniciar la combustión de un pequeño punto de hierro. El calor liberado calentará el hierro a su alrededor por encima de los 1.535 °C y se fundirá. En consecuencia, obtenemos unos cuantos cientos de grados «gratis» en una mini-reacción en cadena: una pequeña cantidad de combustión produce un montón de fusión.

Por fin, a finales de la década de 1880, a un ingeniero de blanca barba e incipiente calvicie llamado Thomas Fletcher se le ocurrió una aplicación práctica de esta reacción: un soplete que usaba oxígeno y gas natural, rico en metano. El resultado no era exactamente como una espada de fuego cortando mantequilla (el corte era lento) pero Fletcher había conseguido cortar el hierro sin necesidad de una cuchilla, lo cual representaba un enorme paso. De hecho, pensaba ganar una fortuna con su invento. Pero cuando hizo una demostración en una feria de comercio en 1888, un grupo de fabricantes de cajas fuertes y cámaras acorazadas rodearon su puesto. «Este método solo puede usarse con fines criminales», espetó uno, indignado, «y debería prohibirse». Le exigieron

a Fletcher que cesase y desistiese, pero él se negó, y al cabo de unos años el misterioso pero emprendedor Smith de algún modo se hizo con un soplete de Fletcher.

Aquel día de Navidades, el corte le llevó más tiempo de lo que pensaba, en parte por la geometría del agujero. Estaba cortando un rectángulo de 30 por 50 centímetros en la pared de la cámara. Un círculo con la misma superficie habría tenido un perímetro menor y habría gastado menos combustible. Por otro lado, el rectángulo tenía una diagonal mayor, lo que le permitiría colarse en el interior más cómodamente, si hiciera falta. Apostó por el rectángulo, esperando que con tres botellas de oxígeno le bastase. A la una y media de la madrugada ya había gastado dos y la tercera estaba a punto de agotarse.

Al final, sin embargo, consiguió soltar el rectángulo de metal. Lo puso a un lado y metió la mano en el agujero, con los dedos preparados para encontrar blandos montones de marcos alemanes. Pero en su lugar se encontraron con algo frío y duro: más hierro. ¡La cámara tenía doble pared! *Scheisse*.

Smith volvió arriba y recogió la escalera de cuerda desde su habitación. Entonces se tranquilizó, se transformó de nuevo en su personaje y bajó a la recepción, donde explicó que le había surgido un asunto urgente ( justamente entonces, a las dos de la madrugada del día de Navidad) y tenía que coger un tren a Colonia. Smith le aseguró al recepcionista que volvería pronto para recoger su equipaje y pagar la factura. Hasta la vista...

Nadie volvió a ver a Smith, pero la historia tiene una interesante coletilla. La tecnología del corte con gas avanzó rápidamente durante las décadas siguientes, a medida que los ingenieros inventaban nuevos sopletes y los químicos descubrían gases más explosivos. Unos pocos científicos también miraron con nuevos ojos la vieja reacción de Lavoisier y desarrollaron una nueva e ingeniosa técnica para cortar el hierro con mayor rapidez.

Esta técnica, el corte con oxígeno, requería un chorro de oxígeno de alta presión sobre una superficie caliente de hierro. Como ya se ha mencionado, el hierro caliente y el oxígeno producen una combustión por encima de cierta temperatura, es decir, reaccionan químicamente liberando luz y calor. Pero hay otra manera de ver el proceso. Cuando el hierro y el oxígeno reaccionan,

forman varios compuestos conocidos como óxidos de hierro. Otro nombre para algunos de estos óxidos es herrumbre. A cierto nivel, pues, la oxidación y la combustión son operaciones afines, químicamente parecidas.\*

La gran diferencia, naturalmente, es la velocidad: la herrumbre puede tardar años en dejar un coche hecho un esqueleto. Pero a temperaturas por encima de 980 °C los óxidos de hierro se forman muy rápidamente. Y lo que es más interesante, los óxidos de hierro se forman más deprisa de lo que tarda el hierro en fundirse. Así que si se quiere partir en dos una pieza de acero, es mejor «oxidar» químicamente el hierro a lo largo del corte que fundirlo físicamente. Y eso es precisamente lo que hacen los cortadores de oxígeno: oxidan el hierro a toda pastilla a lo largo del corte. El proceso difiere del soplete de Fletcher en que, en este, el fin principal del oxígeno es el de ayudar a encender la llama de metano, y es esta la que quema el hierro en un punto, lo que a su vez lleva a que el hierro se funda a su alrededor. Con el cortador de oxígeno también hay que encender una llama y calentar el metal, pero en lugar de esperar a que ese calor físicamente funda el hierro, el soplete de oxígeno dirige una corriente separada de gas oxígeno directamente a la superficie del metal. Este oxígeno adicional pone en marcha la rápida reacción química de «corte por oxidación». En cierto sentido, pues, el propio gas actúa como cuchilla.

La verdad es que esta distinción entre el corte por fusión y el corte por oxidación es bastante fina, y varios magnates de la industria de principios del siglo XX la ignoraron felizmente en busca de réditos. Lo que ocurrió fue que la tecnología del corte por oxígeno apareció justo cuando en todo el mundo la sed por los rascacielos y los grandes petroleros se tornaba insaciable. Quien tuviera los derechos de las distintas tecnologías de corte podría ganar un dineral, así que a principios de la década de 1910 estallaron las disputas en diversos países.

Una de las disputas concernía al antiguo soplete de Fletcher. Uno de los bandos argumentaba que los cortadores de Fletcher simplemente fundían el hierro y punto, de modo que la nueva patente de corte por oxígeno era válida. El otro bando sostenía que, dejando de lado los detalles químicos, el proceso de Fletcher debía englobar *tanto* el corte por fusión como el corte por

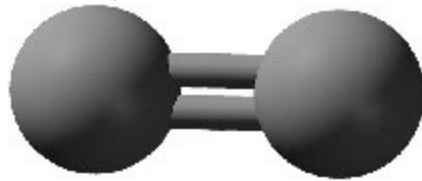


oxidación, que los dos no podían separarse. Y si Fletcher había inventado este proceso en la década de 1880, la patente ya había expirado. Por desgracia, Fletcher había muerto en 1903 y no podía aclarar el asunto.

En el fragor de la disputa, alguien recordó el (casi) golpe de Hannover. Y como el rectángulo de hierro que Smith había cortado de la pared de la cámara acorazada había acabado en un museo (había sido el primer intento de robo de un banco con soplete), un tribunal solicitó un examen de la pieza. Podemos imaginar una docena de magistrados con blancas pelucas observando los bordes con lupa, buscando fragmentos de óxido o perlas de fusión. El tribunal finalmente dictaminó que Fletcher solo había fundido el hierro, y validó la patente del corte por oxidación. Fue así como uno de los crímenes más audaces y científicos del siglo XIX acabó proporcionando evidencia y estableciendo un nuevo precedente legal en el siglo XX.

En cierto modo resulta apropiado. El principal compinche de Smith en este crimen, el oxígeno, lleva miles de millones de años estableciendo precedentes: ninguna otra sustancia ha ampliado tanto el abanico de reacciones que pueden producirse en la Tierra, tanto en la atmósfera como, muy especialmente, en el cuerpo de los organismos vivos. Y ahora que entendemos el poder del  $O_2$  para instigar reacciones, es hora de ver de dónde salió esta sustancia química y de qué extraordinaria manera revolucionó nuestro planeta.

## La maldición y bendición del oxígeno



*Oxígeno (O<sub>2</sub>), 21 por ciento del aire (210.000 partes por millón); cada vez que respiramos, inhalamos unos 2.000 trillones de estas moléculas.*

Tras quemar su iglesia en 1791, la turba de Birmingham se dirigió a la casa de Joseph Priestley con un espetón, decididos a asarlo vivo. Cabe imaginar su decepción cuando descubrieron que había huido. Pero, ya puestos, los saqueadores se lo pasaron en grande rompiendo sus muebles y destrozando su «laboratorio» químico. Por si acaso, quemaron también una efigie de Priestley que había en el jardín, con peluca blanca y todo, y luego la decapitaron. Entre tanto, Priestley miraba cómo se quemaba su casa desde un refugio en una colina cercana. Como codescubridor del oxígeno, era una de las pocas personas vivas que habría podido explicar por qué aquel fuego relumbraba con tanta intensidad.

Algunos años más tarde, durante la Revolución francesa, el mayor rival de Priestley también se convirtió en víctima de una turba justiciera. Una década antes, Antoine-Laurent Lavoisier había articulado las conexiones entre el fuego, el oxígeno y la respiración, y había declarado que esta era una suerte de combustión lenta y controlada que se producía en nuestros pulmones. Sigue siendo uno de los más grandes descubrimientos químicos de todos los tiempos. Pero Lavoisier también era un aristócrata de los pies a la cabeza: recaudaba impuestos para el rey de Francia y en una ocasión pagó el equivalente de 280.000 dólares por un retrato suyo junto a su esposa y su instrumental de química. Y pese a toda la perspicacia que demostró tener para entender el oxígeno, le faltó la equivalente para entender a la gente. En particular, nunca comprendió lo ardientes que pueden ser los fuegos de la rebelión en el pecho de los oprimidos, y por ello acabó en la guillotina.

El oxígeno y el nitrógeno son vecinos en la tabla periódica, y ambos elementos forman gases diatómicos (N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) en el aire. Pero mientras que la acumulación de nitrógeno hace unos pocos miles de millones de años le dio a

nuestro planeta su tercera y más benigna atmósfera, la llegada del oxígeno inauguró un cuarto régimen mucho más explosivo. Si el nitrógeno es tan poco reactivo que parece comatoso, el oxígeno es volátil y maniaco, un lunático en casi todas las reacciones químicas. De hecho, es un veneno para muchas formas de vida, y fue la causa de la mayor crisis a la que se ha enfrentado la vida en la Tierra, la llamada Catástrofe del Oxígeno, hace unos dos mil millones de años.

De algún modo, sin embargo, la vida le dio la vuelta a ese peligro, y aquel antiguo veneno se tornó esencial. Sonará a gastado, pero lo cierto es que ese cambio siempre me ha recordado el viejo dicho sobre la palabra «crisis», que en chino se escribe con dos caracteres, uno de los cuales significa peligro y el otro oportunidad. Según los sinólogos, no es así, pero *se non è vero, è ben trovato*: el oxígeno destruyó la vida primitiva porque detona fácilmente en el interior de las células, pero cuando la vida aprendió a controlarlo, aquella misma reactividad se convirtió en su mejor baza. Y a la vista del caos que creó el oxígeno a lo largo de la historia, parece apropiado que este elemento destruyera a cada uno de los químicos que tuvieron algo que ver con su descubrimiento. Es el diamante Hope de la tabla periódica.

El descubrimiento del oxígeno se entremezcla con nuestro más importante descubrimiento relacionado con el aire, que es una mezcla de varios gases distintos. Antes, los científicos no se molestaban en distinguir entre diferentes tipos de gases; cualquier humo o vapor era para ellos simplemente «un aire».

Un médico y alquimista llamado Jan Baptista Van Helmont aclaró la situación a principios del siglo XVII, y estaba en buena posición para hacerlo, pues él y otros alquimistas ya habían rechazado el antiguo sistema griego que definía el aire, la tierra, el fuego y el agua como los cuatro elementos principales (es decir, las sustancias que ya no era posible descomponer). En particular, los alquimistas proclamaron que la tierra y el fuego eran elementos espurios, puesto que la tierra era un batiburrillo de materiales y el fuego era más un proceso que una cosa material. Una serie de experimentos también llevó a Van Helmont a plantearse dudas. Observó que cuando se calentaban distintas sustancias (madera, carbón, minerales), los humos que surgían tenían propiedades distintas a las del aire; algunos, por ejemplo, no podían quemarse. De igual modo, vio que los vapores que exhalaban las minas, las

húmedas bodegas y la panza de las personas al eructar eran claramente distintos. Van Helmont decidió acuñar la palabra «gas» para referirse a aquel surtido de vapores, una palabra que tomó de la palabra griega que significa «caos».

Esta etimología es apropiada para los gases, por lo rebeldes que son sus moléculas, pero Van Helmont llevó las cosas demasiado lejos cuando comenzó a hablar de ellos como inexpugnables espíritus salvajes. Llegó incluso a equiparar los gases con las almas, y declaró que los científicos nunca podrían confinar los gases en ninguna vasija terrenal. (Por lo que parece, Van Helmont no sabía nadar, o al menos nunca se le ocurrió aguantar la respiración bajo el agua.) Más tarde, los científicos se deshicieron de toda la metafísica de Van Helmont pero retuvieron su buena idea, que el aire y los gases son cosas distintas, siendo la primera una sustancia y la segunda un estado de la materia.

El científico irlandés Robert Boyle dio los siguientes pasos importantes en el estudio del aire a mediados del siglo XVII cuando investigó sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por lo que respecta a sus propiedades físicas, Boyle exploró la elasticidad del aire, lo fácilmente que se puede aplastar, y acabó determinando que cuando se comprime el volumen de un gas, su presión automáticamente aumenta. (Lo contrario también es cierto: cuando un gas se expande en volumen, su presión disminuye.) En cuanto a sus características químicas, Boyle se dio cuenta de que cuando se coloca una llama bajo una campana de cristal, acababa apagándose, como si de algún modo se alimentase del aire. Y en cuanto a la biología, Boyle inauguró una larga y poco gloriosa tradición de científicos que se dedicaron a colocar animales bajo campanas de cristal (alondras, ratones, gatos, serpientes, ácaros del queso) para tomar notas mientras se asfixiaban.

Boyle utilizaba sobre todo vejigas de buey para recoger y estudiar los gases, pero los científicos que le siguieron descubrieron que era mucho mejor dejar que los gases burbujearan en recipientes de agua o mercurio y recoger las burbujas en frascos colocados boca abajo. Con estas nuevas herramientas y técnicas, un físico escocés llamado Joseph Black realizó grandes progresos en el estudio del aire durante el siglo XVIII.

Más que ningún otro científico de esta letanía, Black da la impresión de haber sido un tipo divertido con el que pasar un buen rato. Junto a Adam Smith y David Hume, perteneció al famoso Club de Póquer de Edimburgo, un grupo de «bárbaros literarios» que bebían clarete y jerez a barriles. Black también pronunciaba entretenidas conferencias públicas. Recogía gases ligeros en unos burdos globos y los soltaba para que flotasen hasta el techo; entre el público, alguno gritaba que debía haber algún hilo invisible. Entonces recogía gases más densos en frascos, y «vertía» su invisible contenido sobre una vela para apagarla.

Black había descubierto aquel gas que extinguía las velas, el dióxido de carbono, en 1754, siendo este el primer gas que conseguía aislarse. También fue el primero en determinar que los seres humanos exhalaban dióxido de carbono, un descubrimiento que realizó en 1764 con un sardónico experimento. Una mañana temprano subió a los travesaños de una iglesia y colocó allí un recipiente con cal apagada. La cal apagada es un fluido que produce unos precipitados lechosos cuando se expone al dióxido de carbono. Una vez finalizado el servicio, unas diez horas más tarde (los escoceses se tomaban la religión muy en serio), Black volvió a subir a los travesaños. El aire caliente del predicador había hecho que el fluido se tornase blanco.

Dos de los discípulos de Black también hicieron importantes contribuciones a la teoría de los gases. En 1772 un joven de veintitrés años, Daniel Rutherford (el futuro tío de Sir Walter Scott), eliminó del interior de un recipiente cerrado que contenía aire todos los gases reactivos que contenía, para lo cual primero lo quemó y luego pasó lo que quedaba a través de cal apagada, hasta que no quedaron más que gases no reactivos. Hoy, a ese gas lo llamamos nitrógeno. Pero como mataba a cualquier ratón que se encerrase en el recipiente, Rutherford lo llamó «aire nocivo». (A lo largo de los años, el nitrógeno también se conocería como «aire podrido», «aire quemado» y «aire corrupto». No fue un gas muy popular.)

El otro discípulo de Black, Henry Cavendish, hizo contribuciones aún mayores. A lo largo de su vida, Cavendish guardó más dinero en el Banco de Inglaterra que cualquier otro sujeto británico. Además, no tenía ni un amigo ni más vida social que asistir a las reuniones de la Real Sociedad, y aun entonces huía como un ciervo si alguien intentaba hablar con él. Se comunicaba con el

servicio de su casa por medio de notas, y cuando, en 1810, yacía moribundo, hizo que lo dejaran solo en su habitación para poder registrar el proceso sin distracciones. Hoy parece claro que debía sufrir autismo o algún otro trastorno parecido; en cualquier caso, Inglaterra raramente ha producido una mente más fina. Midió la densidad de la Tierra (y por tanto su masa) sin salir nunca de su mansión de Londres, con la ayuda de poco más que cuatro bolas de plomo y un poco de alambre. También descubrió el gas hidrógeno en 1766, tras dejar que distintos ácidos burbujearan encima de diversos metales. Cavendish llamó al hidrógeno «aire inflamable» porque las llamas se avivan al contacto con él.

Aparte de aislarlo, Cavendish hizo otro descubrimiento vital sobre el hidrógeno. Un día lo mezcló con aire corriente en un recipiente de vidrio y comenzó a someter la mezcla a chispas que producía con un modernísimo (y sin duda carísimo) generador eléctrico. Con el tiempo, en el interior del recipiente se fue formando un «rocío». Este rocío no tenía nada que ver con el experimento que había diseñado, pero como todo buen científico a lo largo de la historia, Cavendish investigó aquella anomalía. Para sorpresa suya, descubrió que aquel rocío era agua. Cavendish no podría haber entendido todos los detalles de lo que había ocurrido, pues todavía no se había desarrollado la moderna teoría de la química. Pero sí comprendió que aquellos dos gases, el aire y el hidrógeno, que además eran inflamables, de algún modo se habían combinado y habían formado agua líquida, justo lo contrario de las llamas.

Aun en nuestros días cuesta comprenderlo, pero en aquellos tiempos resultaba de todo punto desconcertante. En un sentido más amplio, aquel experimento acabó con el último elemento clásico de la antigua Grecia. La tierra y el fuego ya se habían revelado farsantes varios siglos antes. El aire aguantó hasta que comenzaron en serio los experimentos con gases a mediados del siglo XVII. El agua había sobrevivido a aquellas purgas, pero unas pocas gotas de rocío y un fino ojo para la experimentación lo habían desenmascarado como lo que era: un compuesto. Cavendish por fin había tumbado un sistema que había dominado las ciencias naturales durante dos mil años. Ahora había que reemplazar ese sistema, y con tanto prestigio en juego, la competición entre científicos se calentó lo bastante como para quemar a todos los involucrados.

Aunque el oxígeno es el elemento más importante del aire que nos rodea, nadie supo de su existencia hasta que a principios de la década de 1770 un boticario sueco llamado Carl Scheele empezó a tostar diversos minerales para recoger los vapores que emitían. Como las velas quemaban con tanto brillo en estos vapores (que hoy conocemos como oxígeno), a aquel gas lo llamó «aire-fuego». Scheele también descubrió que los animales que respiraban aquel gas en el interior de campanas invertidas vivían *más*, una bienvenida variación en comparación con las carnicerías que provocaba cualquier otro gas.

Por razones que siguen siendo oscuras, Scheele se calló sus resultados durante años, y cuando por fin escogió impresor, resultó ser tan perezoso que la publicación se demoró varios años más. Su obra apareció finalmente en 1777, años después de que otros dos científicos hubieran anunciado el descubrimiento del oxígeno. Por desgracia, Scheele no estaba en posición de defender su prioridad durante las dos décadas siguientes a causa de dos malos hábitos: trabajaba en habitaciones mal ventiladas y probaba todas las sustancias químicas que producía, incluso las del tipo del cianuro de mercurio. (Que es un poco como dispararse a uno mismo con una bala radiactiva: varias maneras de morir.) Como no podía ser otro modo, Scheele expiró, desconocido e ignorado, con cuarenta años. Fue la primera víctima de la maldición del oxígeno.



*El químico Joseph Priestley, codescubridor del oxígeno y epónimo de los  
Disturbios de Priestley.*

Históricamente, la mayor parte del crédito por el descubrimiento del oxígeno recayó en un predicador y agitador llamado Joseph Priestley. Fue el primogénito de seis hermanos, y su madre murió cuando Priestley contaba seis años. (Por si alguien no ha hecho las cuentas, eso significa seis hijos en seis años, así que no es de extrañar que explotara.) Priestley fue entonces a vivir con su tía, que pertenecía a una secta liberal de protestantes, y condujo a su talentoso sobrino hacia el ministerio de la iglesia. Para su eterno arrepentimiento, Priestley se hizo radical poco después de ordenarse, llegando incluso a cuestionar la divinidad de Cristo. No tardó en tenerse por infame en toda Inglaterra, y los dibujantes de viñetas se deleitaban haciendo sus caricaturas. Algunos lo presentaban como un pájaro carpintero, burlándose de su nariz afilada y su tartamudeo; otros simplemente le ponían unos cuernos y lo llamaban Satán. A consecuencia de todo ello, Priestley y su familia fueron saltando de una parroquia a otra durante toda su carrera. Siempre se mantuvo firme en sus convicciones, no así en sus finanzas.

Priestley empezó a hacer pinitos en la ciencia por varias razones. La primera fue la curiosidad; deseaba comprender la creación de Dios. En segundo lugar estaba la camaradería, pues los científicos no lo rehuían a causa de su teología heterodoxa. Llegó incluso a trabar amistad con Benjamin Franklin, quien despertó en él el interés científico por la electricidad. (Mientras escribía un libro sobre la electricidad en 1769, Priestley decidió dibujar él mismo los esquemas, pero le costaba mucho hacerlos bien. Reacio a tirar papel, que entonces era caro, buscó la manera de desprender de su superficie el grafito del lápiz, y por fin dio con el látex del árbol gomero, que le proporcionó la primera goma de borrar.)

Priestley también se metió en la ciencia, por mucho que cueste creerlo, para ganar dinero. Compró unos cuantos libros de matemáticas y globos terráqueos con el fin de dar clases particulares, y luego probó con la gallarda profesión de divulgador de la ciencia. Curiosamente, lo de escribir sobre ciencia resultó ser un hábito oneroso porque los libros que necesitaba eran muy caros, y fue así como, buscando una alternativa más barata, comenzó a



experimentar él mismo y a escribir sobre sus experimentos. (Esto sorprenderá a los científicos actuales: los equipos y suministros costaban *menos* que los libros.)

Priestley descubrió su pasión científica, el estudio de los «aires», tras ser transferido a una parroquia de Leeds en 1767. Por casualidad, fue a vivir al lado de una cervecería, y el gas que burbujeaba en las cubas de cerveza (dióxido de carbono) le pareció fascinante. Acabo siendo expulsado de la cervecería después de verter un poco de éter en una cuba durante uno de sus experimentos, echando a perder toda la cerveza que contenía. (De todas formas, a su congregación no le parecía bien que pasase allí todo el tiempo.) Priestley se apresuró a trasladar su trabajo sobre los aires a lo que él llamaba su «laboratorio» privado.

Al ser un pobre predicador, se veía obligado a realizar sus experimentos con materiales cotidianos.\* Para calentar sustancias usaba una cuba, el tubo de ensayo de su época, duro y resistente. Para capturar los gases emitidos, ajustaba una pipa de tabaco a la boca de la cuba para así conducir los vapores hasta una palangana o una tetera. A medida que el gas burbujeaba en ese recipiente, lo recogía en una botella y luego lo soltaba dentro de una jarra de cerveza invertida donde tenía atrapado un ratón. Si algo iba mal, la casa se llenaba de vapores pestilentes y su familia salía en estampida. Pero la ciencia siempre estará agradecida de la santa paciencia de su esposa e hijos: antes de 1770, los científicos solo conocían dos gases puros, el dióxido de carbono y el hidrógeno. Priestley descubrió nueve aires nuevos durante las décadas siguientes, entre ellos el amoníaco, el dióxido de azufre y el óxido nitroso (el gas de la risa).

Tras su estancia en Leeds, Priestley encontró en William Petty, lord Shelburne, un patrocinador para sus aficiones científicas, y en agosto de 1774 realizó el experimento que habría de hacerlo famoso. Presenciarlo debió ser algo hermoso. Con la ayuda de una lupa de unos treinta centímetros, enfocó la (rara) luz del sol inglesa en el interior de un recipiente de vidrio en cuyo interior había una pequeña pila de polvo rojo (óxido de mercurio, HgO). A medida que el rayo de sol calentaba el polvo rojo, comenzaba a burbujear

mercurio líquido, que brotaba en la superficie y florecía en minúsculas esferas de azogue. Al mismo tiempo, del polvo rojo ascendía un gas claro que danzaba en el aire. Oxígeno.

No está del todo claro qué llegó a entender Priestley sobre este gas, pero sí que nunca pensó haber descubierto un nuevo elemento. Lo describía más bien dentro del contexto de una caduca teoría científica denominada flogisto. Dejando de lado el extraño nombre, el flogisto configura sin duda un fascinante episodio de la ciencia, el de una teoría que, aunque errónea, empujó a la ciencia en direcciones creativas. Pero en lugar de divagar a lo largo de una treintena de páginas, me limitaré a mencionar dos hechos destacados de esta historia. La primera, que los científicos concebían el flogisto como una sustancia *material* pero invisible que se liberaba al aire siempre que se quemaba algo. La segunda, que Priestley creía en el flogisto con más fervor incluso que la mayoría de los científicos, y lo usaba para interpretar todos sus descubrimientos, oxígeno incluido, al que dio el sobrenombre de «aire desflogisticado». (Mejor no preguntar.)

Al igual que Scheele, Priestley observó que las velas ardían con más brillo en el aire desflogisticado. También le alegró comprobar que no asfixiaba a los ratones. De hecho, estaban tan eufóricos que Priestley decidió aspirar también él un poco de aquel gas, y el resultado fue tan bueno como esperaba. «Me pareció que el pecho se me tornaba más liviano y desahogado», escribió. «Con el tiempo, este aire puro podría convertirse en un artículo de lujo de moda.» (¡Y pensar que solo dos siglos más tarde Michael Jackson dormiría en una cámara hiperbárica!) Éxtasis aparte, estos experimentos revelaron una conexión profunda entre la combustión y la respiración, puesto que el nuevo gas estimulaba ambos procesos.

A diferencia de Scheele, Priestley siempre se apresuraba a hacer públicas sus investigaciones, de manera que cuando lord Shelburne se ofreció a pagarle el pasaje a París en octubre de 1774, apenas unos meses después de sus primeros experimentos con el oxígeno, Priestley organizó una cena con varios sabios de la Academia Francesa de las Ciencias para explicar todo lo que sabía. En una vida llena de errores, este sería el mayor de ellos.

La historia no ha preservado el menú, pero dado el entorno (la decadencia del París prerrevolucionario, la mansión de una de las parejas más ricas de Francia) cabe imaginarse el despliegue: pato asado con trufas, jamón con salsa de champán, *ragout* de lengua de carpa, membrillo, bombones y cremas. Con todo, para Antoine-Laurent Lavoisier y su esposa, Anne-Marie, aquella noche la cocina ocupó un segundo lugar mientras escuchaban embelesados a su invitado, Joseph Priestley, que hablaba con desmesura de un nuevo y potente aire que había liberado de un polvo rojo.

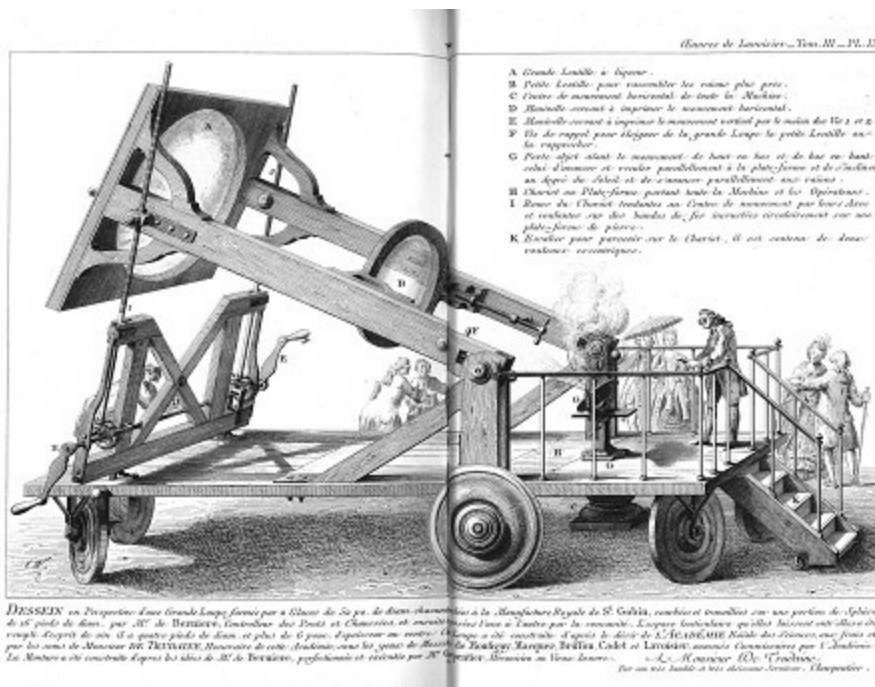


*El químico Antoine-Laurent Lavoisier, que revolucionó su disciplina pero fue ejecutado durante la Revolución francesa.*

Astutamente, Lavoisier decidió no mencionar que un mes antes había realizado un experimento parecido. No había notado que escapase ningún gas, pero en cuanto Priestley partió de París, ese gas se convertiría en su obsesión, hasta el punto de que intentaría robarle el crédito por el descubrimiento. Se habían reunido en amistad alrededor de una cena, pero el oxígeno no tardaría en enemistar a Lavoisier y Priestley.

Lavoisier gozaba de una gran ventaja sobre su rival: tenía dinero. Había nacido rico, se había hecho aún más rico al casarse con Anne-Marie, y todavía más cuando compró media participación en la Ferme Générale, una compañía

privada que recaudaba impuestos para la Corona. Cada año los consejeros del rey le decían a la Ferme cuánto esperaban recaudar de bienes como la cebada o el tabaco. Entonces la Ferme exprimía a los agricultores y tabaqueros de Francia y se quedaba como beneficio el excedente de la recaudación. Miles de bienes caían en el ámbito de su negocio, y los miembros de la Ferme ni siquiera tenían que forzar el sistema, que ya estaba diseñado para hacerlos asquerosamente ricos. Fue la mejor inversión de Lavoisier (obtenía el equivalente de cinco millones de dólares al año), pero también la peor, puesto que le costó la vida.



### *La lupa gigante de Lavoisier para quemar diamantes.*

En 1772, cuando cumplió veintinueve años, Lavoisier comenzó a destinar una buena parte de su riqueza a la ciencia. Se hizo especialmente célebre por quemar diamantes con la luz del sol, una hazaña que logró con una lupa gigante montada sobre una plataforma de madera, lo que le daba el aspecto de un híbrido entre un telescopio y una segadora. Aunque todo un derroche (¿a quién, sino a un aristócrata del *ancien régime*, se le ocurriría quemar diamantes?), sirvió para demostrar lo potente que es la luz del sol. (La próxima vez que se nos ocurra mirar al sol, habrá que recordar que puede freír diamantes.) Además, lo llevó a pensar en la naturaleza básica de la materia: ¿desaparecía el diamante cuando se quemaba, o simplemente se convertía a otro estado?

Fue aquel mismo año cuando Lavoisier conoció los trabajos de Priestley, que era diez años mayor que él. Priestley había inventado el agua carbonatada unos años antes al hacer burbujear  $\text{CO}_2$  a través de  $\text{H}_2\text{O}$ . A la marina francesa le pareció que aquella agua con gas podría servir para curar el escorbuto, y le pidieron a Lavoisier que lo investigara.\* La teoría no se aguantaba, pero Lavoisier quedó impresionado con Priestley. Coincidencia o no, el caso es que al poco tiempo él mismo comenzó a investigar sobre los gases.

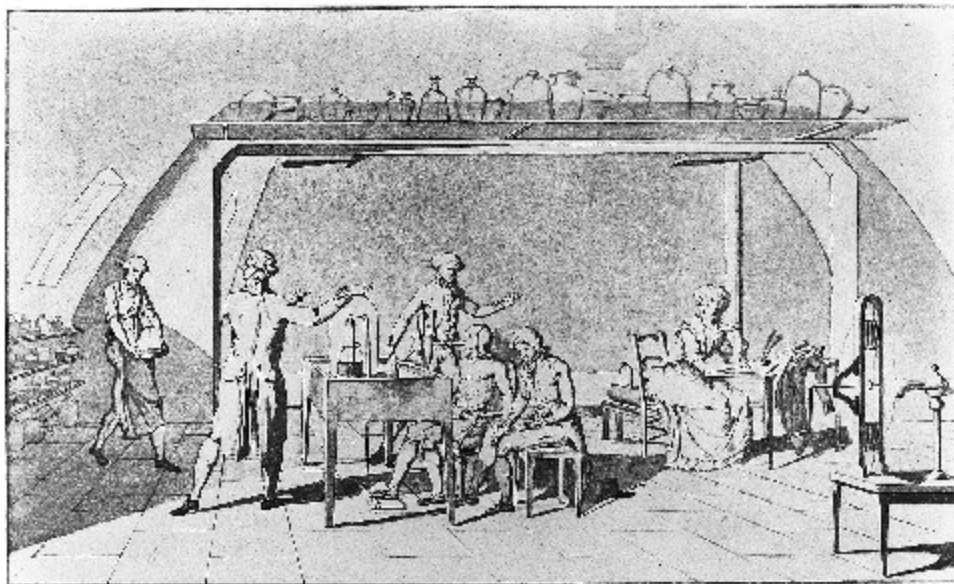
En esas pesquisas colaboró con su esposa. Anne-Marie había perdido a su madre a una tierna edad y se había criado en un convento, uno de los pocos lugares donde una niña podía conseguir una educación en aquellos tiempos. Lo dejó para casarse con Lavoisier, y a pesar de la diferencia de edad (ella tenía trece años, él veintiocho), Lavoisier la trató en buena medida como una igual intelectualmente. En particular, como hablaba varias lenguas, le pidió que le tradujera al francés algunos artículos sobre el flogisto. Al hacerlo, detectó varias incoherencias en la teoría, y Lavoisier se mostró de acuerdo en que algo estaba podrido en el flogisto.

En noviembre de 1772 obtuvo prueba de que así era. En tanto que sustancia material, el flogisto debía tener peso, y cuando se quemaban cosas como la leña o las velas, y supuestamente se perdía flogisto, realmente se producía una pérdida de peso. Pero cuando Lavoisier quemó metales con su gran lupa, lo que ocurrió fue que *ganaron* peso, lo cual no tenía ningún sentido. Algunos químicos explicaron esta anomalía sugiriendo que el flogisto a veces tenía «peso negativo», pero la mayoría de los científicos se dieron cuenta de lo estúpido que sonaba eso. Aun así, la discrepancia no podía acabar con la teoría del flogisto porque nadie tenía una explicación mejor de por qué se quemaban las cosas, hasta que Lavoisier escuchó la verborrea de Priestley durante aquella cena.

Lavoisier sospechaba que Priestley había liberado un nuevo gas sin darse cuenta, así que se retiró a su laboratorio para investigarlo. (Curiosamente, este laboratorio, situado en el Arsenal de París, tenía una galería para espectadores, y Lavoisier a veces contaba con público para sus experimentos.) Lavoisier aisló el gas, y más tarde le daría el nombre de oxígeno. Tras unos cuantos experimentos más, determinó que el oxígeno explicaba la química de la combustión mucho mejor que el flogisto. De hecho, la combustión siempre

parecía implicar la combinación de oxígeno con otra sustancia con liberación de luz y calor. El carbono de la madera y el carbón, por ejemplo, se combinaba con el oxígeno formando dióxido de carbono, que se disipaba en el aire. El oxígeno se combinaba de manera parecida con los átomos de los metales durante la combustión. Pero a diferencia de dióxido de carbono, los compuestos de oxígeno y metal eran demasiado pesados para flotar en el aire, lo que explicaba que los metales ganasen peso al quemarse: absorbían oxígeno. Concebida de este modo la combustión, el flogisto era superfluo; Lavoisier ya no lo necesitaba para explicarla.

La siguiente ronda de experimentos de Lavoisier, en los que se ocupó del oxígeno y la respiración, debieron ser mucho más entretenidos para su audiencia, aunque mucho menos para uno de sus colaboradores, Armand Séguin. Durante varios días seguidos, Lavoisier se dedicó a momificar a Séguin con tafetán y a pintarlo con goma de látex para sellarlo. Entonces pegaba a sus labios un tubo que conectaba a una botella de oxígeno. El experimento consistía en pedirle a Séguin que realizara diferentes tareas (sentarse quieto, digerir una comida pesada, accionar un pedal como ejercicio) mientras Lavoisier medía el oxígeno que consumía y el dióxido de carbono que exhalaba. Los experimentos revelaron una clara correlación entre el consumo de gas y la respiración: cuanto más energético era el ejercicio, más oxígeno usaba y más dióxido de carbono exhalaba con sus resoplidos. Nuevamente, no era necesario invocar al flogisto para explicar la respiración.



*Lavoisier momificaba a uno de sus colaboradores para estudiar la respiración. (Imagen por gentileza de Wellcome Trust.)*

(Por cierto, estos experimentos proporcionaron la primera respuesta real a un antiguo enigma: cuando se hace ejercicio y se pierde peso, ¿adónde va a parar el «peso» perdido? En su mayor parte va a parar al aire en forma de gases como el dióxido de carbono, lo que una vez más prueba que gas somos, y en gas nos convertiremos.)

Tras ordenar todas estas pruebas, Lavoisier presentó sus hallazgos sobre el oxígeno en un congreso científico celebrado en París en septiembre de 1775, justo un año después de que Priestley le diese la pista. Aquella actuación apolínea, entreverada de hechos y datos presentados con una lógica elegante, transformó la química para siempre. Pero en cuanto acabó, Lavoisier y su esposa se dejaron arrebatrar por su lado báquico. Para empezar, contrataron actores para representar la parodia de un juicio en el que aparecían los personajes Oxígeno y Flogisto. (No se dan puntos por adivinar cuál era el héroe y cuál el necio.) A continuación, Madame Lavoisier se disfrazó de sacerdotisa pagana y quemó varios libros de texto sobre el flogisto, para exorcizarlo. Cuando los Lavoisier se cargaban una teoría, lo hacían con estilo.

No todo el mundo aplaudió. Priestley se quejó de que Lavoisier le estaba robando el crédito por el oxígeno, y el debate sobre quién fue su auténtico descubridor se ha perpetuado hasta nuestros días. No hay duda de que Scheele fue el primero en aislarlo y recogerlo, seguido de manera independiente por Priestley. Tampoco hay duda de que Lavoisier nunca había reparado en el oxígeno hasta que Priestley lo puso sobre aviso. Para algunos historiadores, la discusión termina aquí, dejando fuera a Lavoisier. Sin embargo, ni Scheele ni Priestley comprendieron qué habían descubierto. Imaginemos un buscador de fósiles que encuentra un cráneo y anuncia que ha descubierto un antiguo primate de algún tipo; ahora imaginemos que un paleontólogo lo ve y comprende que es algo mucho mejor, una especie humana extinta, toda una nueva rama de la humanidad. Técnicamente, el primer individuo descubrió el cráneo, pero solo el segundo lo entendió. Lavoisier se encuentra en una posición parecida en relación con Priestley y Scheele.

En cierto modo, debatir quién descubrió el oxígeno no es lo más importante. A Lavoisier no le importaba tanto el oxígeno en sí mismo como lo que revelaba sobre la química en general. Antes que él, por ejemplo, varios químicos habían planteado la posibilidad de que la respiración y la combustión tuvieran algo en común, pero solo Lavoisier identificó en el oxígeno el gas que intervenía en ambos procesos. Los historiadores también han acusado a Lavoisier de copiar el trabajo de otros químicos, pero eso pasa por alto el hecho de que casi siempre los superó en lo que hacían. Igual que antes Henry Cavendish, Lavoisier también soltó chispas en un contenedor con oxígeno e hidrógeno produciendo un rocío de agua. También como Cavendish, Lavoisier comparó la masa de los dos gases antes de la reacción con la masa de agua posterior y halló que eran iguales. (Lavoisier construyó para este propósito una balanza tremendamente precisa, con una precisión de 0,0005 gramos.) Pero a diferencia de Cavendish, Lavoisier vio los resultados en un contexto más amplio: razonó que la misma igualdad debía satisfacerse en *cualquier* reacción química, que la masa de los productos debía ser siempre igual a la masa de los reactivos. Y a partir de ahí desarrolló una ley general de la química, la ley de la conservación de la masa, que dice que en toda reacción, incluso cuando las sustancias originales cambian de color o de fase o se recombinan de extrañas maneras, siempre, siempre, *siempre* habrá la misma cantidad de material antes y después. La masa se conserva.

(Curiosamente, algunos historiadores sostienen que en este caso el trabajo de Lavoisier como recaudador de impuestos para la Ferme Générale debió servirle de inspiración para la ciencia. Para llegar a la ley de la conservación de la masa había que pesar muchos reactivos y productos y conseguir que todo cuadrara en la «hoja de balance» química. Los contables analizan el deber y el haber del mismo modo; en ambos casos, dólares y átomos no pueden simplemente desaparecer. Así pues, quien guarde un terrible recuerdo de los días pasados equilibrando ecuaciones en las clases de química, puede echarle la culpa a la lúgubre ciencia de la economía.)

Esto fue solo el principio de las contribuciones de Lavoisier a la química. Fue el primer científico que explicó que una misma sustancia, el agua por ejemplo, puede aparecer en forma sólida, líquida o gaseosa en función de la temperatura. También propuso que todas las sustancias son o bien elementos



(como el oxígeno, el carbono o el hierro) o bien combinaciones de elementos, lo que posiblemente constituya la idea más fundamental de la química. Como dijo un químico del siglo XIX, «Lavoisier no descubrió ningún cuerpo nuevo, ninguna nueva propiedad, ningún fenómeno natural antes desconocido. Su gloria inmortal consiste en esto: en infundir en el cuerpo de la ciencia un nuevo espíritu».

Lavoisier presentó este nuevo espíritu en su *Traité Élémentaire de Chimie*, la versión química de los *Principia Mathematica* y *El origen de las especies*. Por una fenomenal coincidencia, el *Traité* se publicó en 1789, el año de otra revolución francesa, y los historiadores no se han resistido a señalar que, con el tiempo, la revolución química de Lavoisier habría de sacudir el mundo tan profundamente como la otra. Por desgracia, Lavoisier no viviría lo suficiente como para ver los frutos de ninguna de las dos.

La mayor parte del oxígeno de nuestra atmósfera actual proviene de plantas y bacterias fotosintéticas, algo que los científicos entienden a la perfección. Lo que ya no entienden tan bien es cómo comenzaron a producir oxígeno los organismos y de qué modo ese proceso transformó la atmósfera de nitrógeno de otros tiempos en el aire que hoy respiramos.

Los primeros organismos vivos probablemente surgieron cerca de respiraderos volcánicos submarinos y probablemente utilizasen el azufre de esos ambientes para impulsar su metabolismo. A este tipo de organismos los conocemos como bacterias anaerobias,\* y todavía los podemos encontrar en la actualidad. (Se encuentran, por ejemplo, entre los responsables del mal aliento.) Hace tres mil millones de años, un linaje de bacterias aerobias evolucionó hacia las cianobacterias, que no se alimentan de los cálidos volcanes submarinos sino de la luz del sol. Sin embargo, las cianobacterias (que también se conocen como algas verdeazuladas) no fueron los primeros microbios que captaron energía de la luz del sol, un proceso que se conoce como fotosíntesis. Con toda probabilidad, por aquel entonces ya existían varias especies de microbios morenos por el sol, coloreados de distinto modo para así poder captar la luz de distintas longitudes de onda. (Imagino las playas y llanuras mareales de entonces como cuadros de Rothko, un mosaico de tapetes de colores púrpura, verdes y rojos.) No, lo que hacía únicas a las cianobacterias no era que utilizasen la luz del sol, sino que la utilizasen para

arrancar electrones de las moléculas de agua. Como ya hemos visto, los electrones impulsan las reacciones químicas, y en vez de depender de elementos como el azufre, un tanto escaso, como fuente de electrones, las cianobacterias podían recolectarlos de una de las moléculas más comunes y abundantes de la Tierra, lo que aumentaba enormemente su tasa de producción.

El proceso de convertir la luz del sol en energía útil comienza con la clorofila, una molécula de color verde que actúa como una antena biológica que absorbe la luz del cielo. Después, la bioquímica se torna bastante compleja. En esencia, sin embargo, las cianobacterias usan la luz del sol para romper ciertas moléculas y crear otras que almacenen aquella energía para usarla cuando haga falta. Por ejemplo, las cianobacterias pueden descomponer el agua en  $H_2$  y  $O$  y luego fusionar algunos de esos fragmentos con  $CO_2$  y otras moléculas para fabricar azúcares como la glucosa.

Hay, sin embargo, otra cuestión a tener en cuenta con la fotosíntesis, algo en lo que Antoine-Laurent Lavoisier, obsesionado como estaba con la contabilidad química, habría reparado de inmediato. Hacen falta 6 moléculas de dióxido de carbono y 6 moléculas de agua para hacer una molécula de glucosa:  $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6$ . Pero el azúcar ( $C_6H_{12}O_6$ ) solo contiene 6 oxígenos o, de manera más precisa, solo contiene 6 de los 18 oxígenos disponibles al principio. La conservación de la materia dice que los átomos ni se crean ni se destruyen, lo que nos lleva a concluir que la fotosíntesis debe producir gas de oxígeno libre ( $O_2$ ) como producto secundario. Y, en efecto, cuando las cianobacterias comenzaron a prosperar y extenderse por todo el planeta, el oxígeno libre comenzó a acumularse por primera vez en la historia de la Tierra.

El oxígeno libre hoy nos parece genial, pero para los organismos de entonces era tóxico. El problema es que cuando la luz ultravioleta alcanza al  $O_2$ , el gas muta y forma radicales libres que atacan a los ácidos nucleicos y las proteínas y los deshilachan. El oxígeno libre también acaba con la capacidad de muchas bacterias fijadoras de nitrógeno para hacer su trabajo porque el oxígeno arranca los átomos de hierro del núcleo de la enzima nitrogenasa. Así pues, el oxígeno era entonces profundamente antivida.

Por suerte para aquellos delicados microbios, al principio el oxígeno libre tuvo problemas para acumularse porque reaccionaba básicamente con todo lo que se encontraba en el agua y el aire (con la excepción del gas nitrógeno). En el océano, en particular, el oxígeno reaccionaba con el hierro disuelto, formando precipitados de óxidos. Estos minúsculos copos sedimentaron lentamente hasta el fondo, donde se fueron acumulando durante miles de años en las llamadas formaciones de hierro en bandas, unas capas rojizas que todavía se pueden observar en afloramientos rocosos distribuidos por todo el mundo, allí donde haya quedado levantado un antiguo lecho marino de aquella era. Estas capas contienen un 90 por ciento de las reservas mundiales de hierro, todo gracias a los microbios.

Mientras hubo hierro disuelto, la contaminación por oxígeno fue mínima. Pero año tras año, época tras época, las cianobacterias fueron despojando de hierro los océanos, y cuando lo agotaron, las cosas se pusieron feas. El oxígeno libre comenzó a acumularse en los mares, suprimiendo lentamente la vida. Entonces comenzó a burbujear hacia la superficie y a invadir la atmósfera en el equivalente microbiano de las nubes de gas mortal del lago Nyos. A esta gradual acumulación de oxígeno durante varios cientos de millones de años los científicos la conocen como la Gran Oxidación, y del mismo modo que con la Gran Explosión (*Big Bang*) que dio origen a nuestro universo y el Gran Impacto (*Big Thwack*) que creó la Luna, el nombre se queda corto. La vida nunca sufrió una amenaza mayor, y describirlo como un holocausto no es una hipérbole. Hasta la última rama y ramita del árbol de la vida encaraba la extinción.

Voy a mantener un poco el suspense sin revelar si la vida en la Tierra consiguió recuperarse. Sí puedo decir que varios microbios comenzaron a revolverse contra este bruto gaseoso. Algunos desarrollaron membranas exteriores más duras para mantener fuera el oxígeno. Otros construyeron paredes interiores especiales para proteger moléculas delicadas como la nitrogenasa. Y algunos no hicieron nada y tuvieron suerte: cuando el oxígeno comenzó a filtrarse por sus membranas e invadir su interior, en lugar de agonizar hasta morir descubrieron que su maquinaria celular podía aprovechar este gas para obtener energía, canalizando su poder explosivo con fines productivos. Imaginemos que unas pocas tropas francesas, después de respirar

el cloro de los ataques con gas de Haber, no solo sobreviven sino que se sienten *très* tonificados. Es casi igual de probable, pero de algún modo estas bacterias especiales, que hoy conocemos como bacterias aerobias, lo consiguieron.

Los animales tenemos una deuda de gratitud con las bacterias aerobias, pues fueron ellas las que hicieron posibles los organismos multicelulares. Todas las células animales contienen unos pequeños orgánulos llamados mitocondrias que descienden de aquellos pioneros aerobios, y son precisamente las mitocondrias las que permiten que nuestras células utilicen el oxígeno. De hecho, las mitocondrias son la clave para entender el vínculo entre el oxígeno y las formas de vida superiores. Cualquier escolar sabe que los animales necesitan oxígeno para vivir, pero raramente sabemos *por qué* los animales lo necesitan. La respuesta corta es que las mitocondrias usan oxígeno para romper azúcares como la glucosa para obtener energía. Nuestras células pueden digerir un poco la glucosa sin utilizar oxígeno, pero para sacarle hasta el último ergio de energía, para chuparle la médula, necesitamos que las mitocondrias ataquen a la glucosa con O<sub>2</sub>. Sin el oxígeno, las baterías se nos agotarían y moriríamos en cuestión de segundos.

(Cabe notar, además, que a pesar de lo que uno pueda recordar del colegio, las plantas también respiran oxígeno. El resumen habitual es que las plantas toman dióxido de carbono y emiten oxígeno mientras que los animales toman oxígeno y emiten dióxido de carbono, y eso es cierto hasta cierto punto, puesto que las plantas expelen oxígeno cuando fabrican azúcares. Pero la síntesis de azúcares solo es una parte de lo que hacen las plantas, que también crecen y se reproducen y se enfrentan a sus depredadores, y para hacer todas esas cosas necesitan oxígeno que «inhalan» a través de los poros de su piel.\* Las plantas incluso utilizan las mismas mitocondrias que nosotros para manejar el O<sub>2</sub> en el interior de sus células.)

Aparte de mutar el árbol de la vida, el oxígeno también transformó la superficie de nuestro planeta. En cuanto se acumuló en el aire el oxígeno suficiente, comenzó a atacar a los gases invernadero como el metano, sacándolos de circulación. Esto, a su vez, saboteó el termostato de nuestro planeta e hizo que las temperaturas cayeran, y tanto que podríamos haber entrado en una fase de la Tierra como «bola de nieve», con la formación de

glaciares incluso en el ecuador. Por otro lado, el oxígeno también embelleció el planeta. Alrededor de dos terceras partes de los 4.500 minerales de la Tierra actual solo pueden formarse en presencia de oxígeno. La lista incluye varios minerales preciosos como la turquesa, la azurita y la malaquita, joyas que sin el oxígeno no tendríamos. La otra cara de la moneda es que varios minerales conocidos no pueden formarse en presencia de oxígeno, lo que significa que el oxígeno casi llevó a esos antiguos minerales a la extinción. Así pues, las rocas pueden expandirse, evolucionar y morir igual que las especies, en función de los gases que «respiren». El legendario biólogo Carlos Linneo, a quien debemos el sistema de nomenclatura binomial que utilizan los científicos para referirse a plantas y animales (*Homo sapiens*, *Tyrannosaurus rex*), al principio había incluido también a los minerales en su esquema. Más tarde, los biólogos sacaron a los minerales por irrelevantes, pero el oxígeno es lo bastante potente como para, en cierto modo, vivificar las rocas.

En la actualidad, el oxígeno constituye el 21 por ciento de nuestro aire, más o menos la mitad proveniente de las plantas y la otra mitad de los microbios. Pero a diferencia del nitrógeno, el otro gas mayoritario del aire, el oxígeno no se acumuló de manera gradual a lo largo de miles de años, sino que salió a chorro. El primero de esos chorros comenzó hace unos 2.300 millones de años, después de que se agotase el hierro de los océanos. Entonces, durante varios cientos de millones de años, la concentración de oxígeno en el aire saltó de una molécula por billón a una molécula por quinientas, casi diez órdenes de magnitud. Para ponerlo en perspectiva, algunos de los gases de Haber pueden matar a los seres humanos en concentraciones de partes por millón, así que un aumento hasta una en quinientas hizo que las cosas se pusieran realmente mal para los organismos que no respiraban oxígeno.

Hace unos 1.800 millones de años, los niveles de oxígeno hicieron una pausa y se estabilizaron durante un tiempo, sobre todo porque lo absorbían los minerales de las tierras emergidas. Por razones probablemente inconexas, también la vida parece haberse estancado, renunciando a evolucionar durante este periodo. (Los geólogos en ocasiones se refieren a este tiempo como los «aburridos mil millones de años».) Pero las concentraciones comenzaron a subir de nuevo hace unos 600 millones de años, cuando se saturaron los

minerales de las tierras emergidas, y tras este aumento comienzan a aparecer en el registro fósil las primeras plantas y animales complejos, organismos capaces de correr, luchar, cazar, aparearse y matar.

En los cientos de millones de años que han transcurrido desde entonces, los niveles de oxígeno han seguido una trayectoria irregular, como el camino de un borracho, bajando hasta tan solo un 15 por ciento y aumentando hasta el 35 por ciento. También eso tuvo varios efectos inusuales. Durante los momentos álgidos, la más pequeña chispa o ascua se habría alzado en llamas, quemando todo lo que rodeara. Durante los momentos bajos, hasta los volcanes y los rayos lo habrían tenido difícil para hacer arder algo a su alrededor. De hecho, no tenemos el menor indicio de incendios en el registro fósil hasta hace unos pocos millones de años, cuando aparecen los primeros vestigios de carbonilla. También marca esto el primer momento de la historia en que un viajero en el tiempo habría podido salir de su máquina y darse un paseo sin dificultad para respirar. (Por debajo del 17 por ciento de  $O_2$ , se nos nubla la mente y tenemos problemas para movernos.)

De todos los animales, probablemente fueran los insectos los que más se beneficiasen de los niveles altos de oxígeno. Como carecen de pulmones, la mayoría, pero sobre todo los más pequeños, no pueden inhalar oxígeno, sino que este se difunde de manera pasiva hasta las células a través de unos poros de su exoesqueleto. Este sistema funciona bien mientras los insectos no sean demasiado grandes. Es un hecho geométrico que el área aumenta más despacio que el volumen, así que llega un punto en que sus pequeños poros son incapaces de absorber el oxígeno suficiente. Eso explica que la mayoría de los insectos actuales sean diminutos, pues de otro modo se asfixiarían. En cambio, en los embriagadores días del 35 por ciento de oxígeno, esa restricción no importaba tanto. Si nuestro viajero del tiempo hubiera salido de su agujero de gusano hace 300 millones de años, habría tenido que enfrentarse a milpiés de un metro de largo, libélulas del tamaño de gaviotas y arañas tan grandes como neumáticos. Eran los colosos de los insectos, y todo gracias al oxígeno.

A los niveles de oxígeno actuales, un ser humano necesita inspirar cada cuatro segundos, unas veinte mil inspiraciones al día. Eso significa que cada uno de nosotros quema un cuatrillón (1.000.000.000.000.000.000.000) de moléculas de oxígeno cada veinticuatro horas. Con siete mil millones de

personas en la Tierra, además de un montonazo de otros organismos que requieren oxígeno, es fácil entender lo voraces que somos los animales. Si mañana desapareciesen de la faz de la Tierra todas las plantas y todas las bacterias productoras de oxígeno, los seres humanos y otros animales probablemente se asfixiarían hasta morir en el curso de un millar de años, poniendo fin así a la vida inteligente en la Tierra en menos de una millonésima del tiempo que necesitó para evolucionar.

Por suerte, las plantas y las cianobacterias reponen cada día nuestras provisiones de oxígeno. De hecho, si se cuantifica el cambalache entre distintas formas de vida, las cuentas salen muy bien cuadradas. Las plantas por lo general toman dióxido de carbono y agua y producen azúcares y oxígeno; los animales suelen tomar azúcares y oxígeno y producen dióxido de carbono y agua. Yin y yang, tesis y antítesis, equilibrio perfecto. Ni siquiera un puntilloso de la contabilidad como Lavoisier le encontraría tacha. Se oye hablar mucho en la física sobre la simetría y la belleza profunda de la naturaleza. Todo cierto. Pero para mí la simetría  $O_2/CO_2$  es más inspiradora, porque tardó mucho tiempo en evolucionar y porque hay muchas más partes móviles, muchas más maneras en las que todo podría estropearse. Y, sin embargo, no se estropea. Robles, aves del paraíso, cianobacterias, todos estamos juntos en esto.

Es difícil no sentir pena por Joseph Priestley. Lavoisier ya gozaba de todas las ventajas de su rango y posición, y aun así se aprovechó de los experimentos de Priestley, de entrometerse en el descubrimiento del oxígeno. Y lo que es peor, Lavoisier tuvo luego la desfachatez de coger el propio descubrimiento de Priestley y ponerlo en su contra, usándolo para dismantelar su estimada teoría del flogisto. Para colmo, lo consiguió. A cada año que pasaba, Priestley se encontraba con menos aliados al tiempo que crecían las huestes leales a Lavoisier.

Priestley, sin embargo, no tardó en tener cosas más graves de que preocuparse que su honor científico. Aunque conocido en toda Inglaterra como «Dr. Flogisto», siempre se había considerado a sí mismo, por encima de todo, como un predicador, y en 1780 consiguió un buen trabajo al servicio de Dios en Birmingham. Más tarde diría que aquella había sido la época más feliz de su vida. Atrajo a una congregación de gente acomodada, descubrió unos

cuantos gases más, trabó amistad con James Watt y Erasmus Darwin, y entró a formar parte de su famosa tertulia, la Sociedad Lunar; incluso logró ganar algo de dinero de verdad construyendo y vendiendo instrumental científico.

Pero no todo el mundo en Birmingham lo recibió igual de bien. La ciudad había soportado una serie de alborotos durante el siglo XVIII, y allí las masas se habían forjado una reputación de «miserable, descarada, exaltada, canalla, jaranera y bruta turba de Birmingham». No tardaron mucho en centrar su atención en el nuevo predicador. Priestley había escrito varios libros notorios, entre ellos el que llevaba el descarnado título de *Historia de las corrupciones del cristianismo*. También había ensalzado públicamente la Revolución francesa, que el típico bruto de Birmingham identificaba (no injustamente) con la muerte al rey y a la Iglesia, dos instituciones que tenían en gran estima. (No estaban solos en su desprecio por la Revolución. En busca de una metáfora ingeniosa, el estadista Edmund Burke comparó las letales turbas francesas con un «gas salvaje», invocando la concepción de Van Helmont del gas como puro caos.)

Mofándose de tales sentimientos, noventa de los amigos de Priestley en Birmingham organizaron una lujosa cena en un hotel de la ciudad para el 14 de julio de 1791 con la intención de celebrar el segundo aniversario de la toma de la Bastilla. Mala idea. Mientras festejaban y alzaban las copas para brindar por todas las ideas radicales que se les iban ocurriendo («por los patriotas franceses», «por los derechos del hombre», «por los luchadores por la libertad en América»), en el exterior se congregaron trescientos matones y gente de mala vida, mientras el pregonero de la ciudad corría de un lado para otro sonando su campana. Cuando se acabó la cena, la turba comenzó a lanzar piedras contra los asistentes y las ventanas del hotel. Entonces se dirigieron a la iglesia de Priestley, arrancaron los bancos y quemaron el edificio entero. Sin calmar su ira, recorrieron el kilómetro y medio hasta la casa de Priestley con la intención de asarlo vivo.





*La destrucción de la casa de Joseph Priestley durante los Disturbios de Priestley.*

Priestley, ejerciendo una prudencia poco propia de él, no había asistido a la cena. De hecho, estaba jugando a *backgammon* cuando oyó la muchedumbre que se acercaba. Llegaron unos amigos que lo sacaron de allí a toda prisa, y desde una colina pudo ver cómo destruían su casa y quemaban su efigie, lo bastante cerca como para oír a uno de los agitadores gritar «¡Quitémosle el polvo a la peluca de Priestley!»). Los brutos aún destruyeron una docena más de casas y quemaron otras cuatro iglesias durante los tres días siguientes, tras los cuales buena parte de Birmingham quedó reducida a vigas carbonizadas y pintadas. En cualquier caso, el suceso pasó a la historia como los Disturbios de Priestley, por su objetivo más destacado, y es, por lo que sé, la única revuelta que ha recibido el nombre de un científico.

Tras mudarse a Londres, Priestley solicitó una indemnización al gobierno, que se había mantenido al margen y no había hecho nada para aplacar la turba, pero la Corona le mostró poca simpatía. «No podría sentirme más satisfecho de que Priestley sea la víctima de las doctrinas que él y su partido han promovido», declaró Jorge III. Entre tanto, Priestley intentó

contactar con algunos viejos amigos de la Real Sociedad de Londres, pero halló que lo rehuían, un rechazo que lo hirió profundamente. (Como para fiarse de la camaradería en la ciencia.) Los tribunales finalmente le concedieron unas 2.500 libras por los daños, 1.500 menos de las que había solicitado. Buena parte de la discrepancia se debía a su instrumental científico, que él valoraba en mucho y el tribunal en nada.

Sin nada que le atase ya a Inglaterra, Priestley zarpó rumbo a Estados Unidos en abril de 1794, con sesenta y un años de edad. Sus tres hijos ya habían emigrado allí, y le aseguraron que los rumores sobre la libertad religiosa eran ciertos. Pese a una generosa oferta para enseñar química en la Universidad de Pensilvania (fundada por su viejo amigo Benjamin Franklin), Priestley se estableció en la rústica Northumberland, en el centro de Pensilvania. Desde que puso pie en América, ya nunca más se puso su peluca empolvada, decidido a dejar atrás el Viejo Mundo y sus problemas.

Los problemas, sin embargo, lo persiguieron a través del Atlántico cuando un antiguo enemigo político también expatriado (que escribía bajo el pseudónimo de «Peter Porcupine») comenzó a distribuir por todo Pensilvania unos injuriosos panfletos con el objeto de arruinar su reputación entre sus nuevos vecinos. Priestley también tuvo que soportar un escándalo doméstico cuando su hijo William fue acusado de envenenar a varios sirvientes, entre ellos dos mozas. (El caso nunca se resolvió.) En medio de todo aquel barullo, el Dr. Flogisto siguió experimentando, y fue en aquellas costas donde descubrió un último gas, el monóxido de carbono. Cuando murió, en 1804, el presidente Thomas Jefferson (que tampoco era un científico holgazán), lo ensalzó como «una de las pocas mentes preciosas de la humanidad».

Lavoisier tuvo un final más macabro. Durante la Revolución francesa una facción radical conocida como los jacobinos tomó el poder en Francia y abolió la Ferme Générale en 1790. Repentinamente despojado de su ocupación, Lavoisier dirigió su atención al trabajo científico, como el desarrollo del incipiente sistema métrico. Pero la mancha de recaudador de impuestos no se lavaba, y la gente empezó a hablar de venganza. Entonces un radical influyente llamado Jean-Paul Marat volvió contra Lavoisier sus propias habilidades científicas. Años antes, para ayudar a la Ferme a recaudar impuestos, Lavoisier había recomendado que alrededor de París se

construyese un muro con unos peajes que permitiesen controlar quién entraba y quién salía. Un moderno historiador comparó la idea con que «cuarenta de las personas más ricas de Estados Unidos amurallaran Nueva York y construyeran unos palaciegos peajes, a costa de los contribuyentes y al servicio de Hacienda». Como es natural, a la Ferme le encantó la idea, y recaudando los peajes se ganaron el odio eterno de todos los *sans culotte*:<sup>1</sup> años después, antes incluso de tomar la Bastilla, la multitud agitada se tomó la molestia de atacar y quemar las odiadas puertas. Marat llevó la condena aún más lejos cuando acusó a Lavoisier de construir las puertas para bloquear el flujo de *aire* a París, como si Lavoisier pudiera controlar el mismísimo oxígeno que la gente respiraba. Como ciencia, la idea era basura; como propaganda, brillante.

Por muy odiado que fuera, Lavoisier siguió siendo un hombre libre hasta 1793, cuando los jacobinos finalmente decretaron una orden a arresto contra él y las otras veintisiete «sanguijuelas» y «vampiros» de la antigua Ferme. Lavoisier se escondió en el Louvre durante algunos días antes de entregarse el día de Nochebuena. La primera prisión a la que fue a parar era en realidad bastante confortable; él y sus compañeros disfrutaban allí de vino, peras y *backgammon*. Durante esta fase, muchos miembros de la Ferme todavía albergaban esperanzas: Lavoisier se consolaba con la idea de que, aun en el caso de que perdiera su fortuna, podría dedicarse a la farmacia, su profesión preferida. Pero los prisioneros comprendieron lo grave de su situación cuando los trasladaron a unas celdas más sórdidas, donde conocieron las ratas y las pulgas probablemente por primera vez en su vida. Oliéndose su final, algunos miembros de la Ferme se habían agenciado dosis letales de opio, pero Lavoisier los convenció de que no se suicidasen.

Su juicio comenzó a las diez de la mañana del 8 de mayo de 1794. Los tres jueces vestían toga negra, corbata blanca y sombrero con plumas; también tenían una botella de vino para ir bebiendo, lo que hacía que aquello pareciese un asunto civilizado. Al entrar, cada prisionero fue despojado de todas sus posesiones personales; a Lavoisier le confiscaron una pequeña llave de oro. Los jueces procedieron a comunicarles, por primera vez, los cargos concretos de los que los acusaban: manipular las tasas de interés, adulterar el tabaco y malversar 130 millones de libras (unos 5.000 millones de dólares actuales). Pero lo más inquietante fue que el gobierno acusó a la Ferme de conspirar

contra el pueblo de Francia, un crimen castigado con la pena de muerte. Bajo el análisis de Lavoisier, ninguno de los cargos se sostenía; era como la parodia de juicio entre Oxígeno y Flogisto. Pero aquella lógica no valía de mucho en aquel tribunal, y los jueves sentenciaron a los veintiocho acusados a morir en la guillotina.

Los condenados fueron llevados en carro a la guillotina aquel mismo día, con soldados a caballo que abrían paso entre la muchedumbre que los abucheaba. Hacia las cinco de la tarde subieron a la tarima, con las manos atadas a la espalda, y se arrodillaron uno a uno bajo la cuchilla. Lavoisier fue el cuarto. «Bastó apenas un momento para segar aquella cabeza», se lamentó un amigo, «pero quizá un centenar de años no nos den otra igual». Joseph Priestley estaba cruzando el Atlántico en aquellos momentos, y tardó meses en enterarse de la noticia. Cuando lo hizo, debió sorprenderle que su amada Revolución francesa hubiera acabado finalmente no solo con su vida, sino con la de su mayor rival científico.

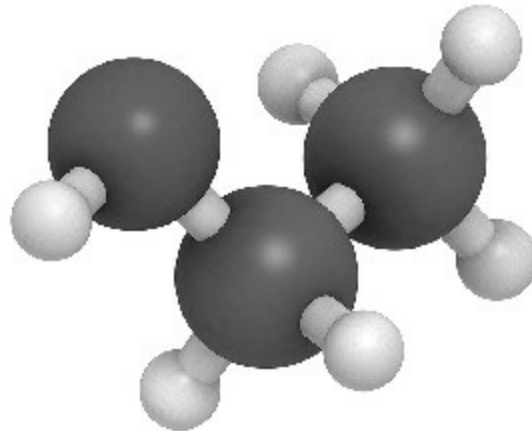
Durante los años que siguieron a su muerte surgieron varias leyendas sobre las últimas horas de Lavoisier. Una decía que tras recibir la sentencia de muerte había solicitado un breve aplazamiento de la ejecución para acabar una investigación científica. Supuestamente, el juez lo desestimó, alegando que «la República no necesita científicos». Eso nunca ocurrió, pero algunas personas creen que sí. Adolf Hitler expresó más o menos la misma idea cuando Carl Bosch le pidió que perdonase a unos cuantos científicos judíos.

La leyenda más célebre se refiere a los últimos minutos de Lavoisier. En algún momento, mientras hacía cola para la guillotina, Lavoisier supuestamente le pidió a un colega que se apretase todo lo que pudiera contra la tarima y le ayudase a hacer un último experimento. En contra de lo que uno pudiera pensar, la guillotina no mata al instante; la cabeza vive aún durante unos segundos después de ser cortada. Por razones obvias, nadie había comprobado nunca exactamente cuánto tiempo, y Lavoisier decidió que su propia muerte le proporcionaba una excelente oportunidad para averiguarlo, así que le dijo a su ayudante que en el momento mismo en que notase el silbido de la cuchilla sobre su cuello empezaría a parpadear, y seguiría haciéndolo mientras su suministro interno de oxígeno descendiese y perdiese el

conocimiento. Todo lo que su ayudante tenía que hacer era ignorar la sangre y la muchedumbre y su propia repugnancia, y no dejar de contar. Algunas fuentes afirman que Lavoisier logró parpadear once veces; otros, que fueron quince.

Dada la velocidad con la que caían las cabezas (a la media hora ya habían muerto los veintiocho hombres), la historia probablemente sea apócrifa. Pero como mito todavía es poderoso, pues nos muestra un científico dedicado a su oficio incluso más allá de su propia muerte. Es tan conmovedor como Sócrates filosofando mientras sorbe la cicuta. Si de verdad hubiera ocurrido así, habría sido el mayor experimento de la vida de Lavoisier: completamente original, apropiado para un público y sin más elementos que su prodigioso cerebro y su amado gas oxígeno.

## Interludio. Dickens y el calor



*Etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), actualmente 0,00005 partes por millón en el aire;  
inhalamos 600.000 millones de moléculas con cada aliento.*

Lo primero que notaron fue el olor, como si alguien estuviera friendo unas costillas de cordero rancias. Los dos hombres, sentados en su piso del centro de Londres, charlaban inquietos sobre su cita de medianoche con el viejo y alcohólico Mr. Krook, en el piso de abajo. Pero unas señales ominosas no dejaban de interrumpirlos. Un hollín negro danzaba por la estancia como caspa del diablo, manchando las mangas de uno de los hombres. Cuando el otro se inclinó sobre el alféizar de la ventana, sus manos quedaron marcadas con una grasa amarillenta. ¡Y aquel hedor! A cada minuto que esperaban, el olor a carne rancia se hacía más potente.

Cuando por fin llegó la medianoche, bajaron las escaleras. Atravesaron el taller de Mr. Krook, repleto de paños, botellas, huesos y demás basura; resultaba desagradable incluso a la luz del día, pero aquella noche percibían algo decididamente maligno. Fuera del dormitorio de Mr. Krook, en la parte trasera del taller, un gato negro saltó con un bufido. La grasa manchaba las paredes y el techo en el interior del dormitorio, como si alguien la hubiera usado para pintar. El abrigo y el sombrero de Krook yacían sobre una silla y sobre la mesa descansaba una botella de ginebra, pero la única señal de vida era el gato, que seguía bufando. Movieron su farol de un lado a otro en busca de Krook.

Fue entonces cuando vieron un montón de ceniza en el suelo. La observaron aturdidos por un momento, luego dieron media vuelta y escaparon a toda prisa, saliendo a la calle dando gritos de ayuda. Pero ya era demasiado

tarde. El viejo Krook había muerto, víctima de la combustión espontánea. Cuando Charles Dickens publicó esta escena en diciembre de 1852 (es un fragmento de su novela *Casa desolada*) la mayoría de sus lectores se la tragaron entera. Al fin y al cabo, Dickens escribía relatos realistas y se esmeraba en representar de forma detallada las cuestiones científicas, como las infecciones de viruela o los daños cerebrales. Así que por mucho que Krook fuese un personaje de ficción, el público confiaba en que Dickens había presentado la combustión espontánea con precisión.

Pero unos pocos miembros del público no podían leer sobre la muerte de Krook sin alzarse en llamas de ira. Los científicos de aquel tiempo se esforzaban por desmentir viejas creencias como la clarividencia, el mesmerismo o la idea de que, a veces, la gente arde en llamas sin razón alguna. A las dos semanas, los escépticos empezaron a retar a Dickens en la prensa, desatando así una de las más extrañas controversias de la historia de la literatura, un debate sobre el papel del oxígeno en el metabolismo humano.

Liderando la carga contra Dickens estaba George Lewes, un Richard Dawkins de la era victoriana, siempre preparado para atacar la superstición. Lewes había estudiado fisiología de joven, así que entendía el cuerpo. También tenía un pie en el mundo literario como crítico y dramaturgo y como amante de George Eliot desde hacía mucho tiempo. Contaba a Dickens entre sus amigos.



*La muerte de Mr. Krook, de Casa desolada de Charles Dickens.*

Pero desde luego nadie lo diría tras leer la respuesta de Lewes a *Casa desolada*. Reconocía allí que los artistas cuentan a veces con licencia para retorcer la verdad, pero se quejaba de que los novelistas ignorasen alegremente las leyes de la física. «Estas circunstancias caen más allá de los límites de la ficción aceptable», escribió. Y luego acusaba a Dickens de sensacionalismo barato y de «dar mayor crédito a un vulgar error».

Dickens se la devolvió. Estaba publicando *Casa desolada* en entregas mensuales, de modo que tuvo tiempo de responderle en el episodio de enero. La acción se reinicia con la investigación sobre la muerte de Krook, y Dickens se burla de los críticos de la combustión espontánea, tildándolos de intelectuales demasiado ciegos como para ver las pruebas que están a la vista: «Algunas de esas autoridades (naturalmente, las más sabias) sostienen... que el muerto no tenía derecho a morir de la forma supuesta», escribió Dickens. Pero el sentido común acaba triunfando cuando el forense de la historia declara: «¡Estos son misterios que no podemos explicar!».



En cartas privadas a Lewes, Dickens continuó su campaña, mencionando varios casos de combustión espontánea a lo largo de la historia. Se apoyó sobre todo en el caso de una condesa italiana que se quemó en 1731. Al parecer tenía la costumbre de bañarse en brandi para suavizar la piel, y una mañana, después de uno de sus baños, una sirvienta entró en su habitación y vio que no había dormido en la cama. Como en el caso de Mr. Krook, había hollín suspendido en el aire, además de un humo amarillento y oleoso. La sirvienta encontró las piernas de la condesa, solo las piernas, a pocos metros de la cama. Había entre ellas un montón de cenizas y su cráneo carbonizado. No parecía haber nada más fuera de lugar, salvo por dos velas fundidas cerca de los restos. Un sacerdote había relatado la escena, así que Dickens la consideraba fiable.

Tampoco era él el único autor que creía en la combustión espontánea. Mark Twain, Herman Melville y Washington Irving también tienen personajes que se consumen en llamas. Como en los relatos que «no eran de ficción», en la mayoría de estas escenas las víctimas eran viejos alcohólicos y sedentarios. Sus torsos siempre se quemaban hasta las cenizas, pero sus extremidades a menudo sobrevivían intactas. Pero lo más inquietante era que, aparte de la ocasional marca de quemado en el suelo, las llamas nunca consumían nada más que el cuerpo de la víctima.

Se crea o no, Dickens y aquellos otros autores estaban respaldados por algo de ciencia. Dickens escribió *Casa desolada* menos de diez años después del descubrimiento de la nitroglicerina, un aceite explosivo que puede detonar espontáneamente. Y lo que es más significativo, la combustión espontánea parecía estar vinculada a uno de los descubrimientos más importantes de la ciencia médica, el que relacionaba los fenómenos aparentemente dispares de la combustión, la respiración y la circulación de la sangre.

En 1628 William Harvey proporcionó la primera prueba real de que la sangre fluye alrededor del cuerpo en un circuito, en el que el corazón actúa como bomba. (Antes de él, se suponía que el hígado convertía el alimento en sangre y que nuestros órganos la «comían» del mismo modo que las plantas consumen el agua.) Al mismo tiempo, Harvey hizo algunas dudosas especulaciones sobre la circulación de otros fluidos, como el aire. Sabía que tanto la sangre como el aire pasan por los pulmones, pero insistía en que estos

dos fluidos no se mezclaban. Al contrario, argumentaba que los pulmones simplemente enfriaban la sangre al agitarla, del mismo modo que removemos la sopa para enfriarla. En otras palabras, los pulmones desempeñaban un papel mecánico, que no alteraban la sangre químicamente. Solo el corazón podía hacer eso.

En la década de 1660, Robert Hooke y Robert Lower, miembros del nuevo club científico de chicos llamado Real Sociedad, refutaron la teoría de Harvey sobre los pulmones, para lo cual solo tuvieron que enfriar la sangre. Esto lo hicieron mediante una serie de espeluznantes experimentos que requerían la vivisección de un perro. Ahorraré al lector los detalles más macabros; baste con decir que practicaban unos pequeños agujeros en los pulmones de los perros para permitir que por ellos pasase el aire, y por el morro del perro introducían la boca de un fuelle hasta la tráquea. Al accionar repetidamente el fuelle, mantenían los pulmones inflados, como un cono de viento un día que sopla fuerte. A consecuencia de ello, los pulmones se mantenían estacionarios durante varios minutos, sin expandirse ni contraerse.

El corazón del perro y otros órganos funcionaban bien mientras corriese aire por los pulmones, a pesar de su inmovilidad. Así pues, en contra de Harvey, el mero *movimiento* de los pulmones no significaba nada. El dúo también observó cómo la sangre del perro cambiaba de color al tiempo que se movía por los pulmones, pasando de un sombrío azul Picasso a un potente rojo Matisse. Todo ello respaldaba su teoría de que los pulmones realmente desencadenaban un cambio químico en la sangre, bien infundiendo en ella alguna sustancia, bien retirando gases de desecho.

Resultó que hacían ambas cosas. Como ya hemos visto, los químicos de finales del siglo XVIII determinaron que los pulmones toman oxígeno y expelen dióxido de carbono. (En cuanto al color, cuando el oxígeno entra en los glóbulos rojos, se adhiere a las moléculas de hemoglobina. Esta contiene átomos de hierro, que se unen fácilmente con el oxígeno y, al hacerlo, cambia la forma de la hemoglobina. Esto, a su vez, produce un cambio de color de azulado a rojo brillante.) Además de relacionar el oxígeno con la respiración, aquellos químicos ya habían vinculado el oxígeno con la combustión, con el fenómeno de arder. Así que cuando comprendieron que la sangre lleva oxígeno

a nuestras células, proclamaron, QED, que la respiración debe implicar algún tipo de lenta combustión en nuestro interior: algo se quema constantemente, y nuestro propio cuerpo actúa como combustible.

Y si en nuestro interior ardían siempre unos fuegos lentos, ¿por qué no habrían de estallar en llamas en determinadas ocasiones, especialmente en los alcohólicos, cuyos propios órganos estaban empapados en ginebra o ron? Para este modo de pensar, la combustión espontánea no parecía en absoluto ridícula. (Además, seamos claros, todos emitimos gases inflamables varias veces al día.) En cuanto a qué encendía los fuegos, tal vez fuesen las fiebres, o un temperamento muy caliente. Al defender la combustión espontánea, Dickens echaba leña a un debate científico que aún llameaba.

Lewes no se dejó persuadir por nada de aquello. Leyó los relatos históricos citados por Dickens y los desestimó por «graciosos pero no convincentes», haciéndole notar que algunos tenían ya más de un siglo. No ayudó el hecho de que Dickens buscara el apoyo de un médico célebre que también promovía la frenología. Lewes también señaló que ninguno de los relatos «fácticos» estaba escrito por un testigo visual. Los autores siempre habían escuchado la historia de boca de otro, un amigo de un primo o el cuñado del casero.

Pero lo más incontestable radica en el hecho de que Lewes tenía un mayor conocimiento de la fisiología moderna. Señaló algunas investigaciones recientes que demostraban que el hígado metabolizaba el alcohol, descomponiéndolo antes de eliminarlo, así que por mucho que apeste su aliento, los órganos de los alcohólicos no están empapados en licor. Y aunque lo estuvieran, nuestro cuerpo está compuesto por agua en tres cuartas partes, así que tampoco iba a pegar fuego. Y los médicos ya sabían que las fiebres no alcanzan temperaturas suficientes para encender nada.

Como era de esperar, Dickens se mantuvo en sus trece. Siempre había mantenido una relación ambivalente con la ciencia. No podía negar los prodigios que la ciencia había producido, pero en el fondo era un romántico y creía que la ciencia mataba la imaginación. Además, desde una perspectiva artística, consideraba que la escena de Krook ocupaba un lugar central en su novela (que trataba de un ruinoso juicio que «consumía» las vidas y fortunas de todos los implicados), y no podía permitir que se desacreditara. Cuanto

más defensivo se mostraba Dickens, más enojado se sentía Lewes. Siguieron con la riña durante varios meses, y luego ambos la abandonaron cuando apareció la última entrega de *Casa desolada* en septiembre de 1853.

La historia, naturalmente, ha considerado ganador a Lewes: fuera de los tabloides, nunca un ser humano ha experimentado combustión espontánea. Pero en aquella época la idea de la combustión espontánea no era tan vulgar y ridícula como Lewes pretendía; un texto médico aún discutía casos en 1928. Además, Dickens sin duda tenía razón en un punto: que en los asuntos humanos, la combustión espontánea puede ocurrir. Dickens y Lewes acabaron por reconciliarse, pero durante aquellos diez meses de 1853, los fuegos ardieron a muy alta temperatura en Londres. Ellos serían los primeros en admitir que las amistades y las reputaciones pueden arder instantáneamente hasta consumirse en humo y cenizas.

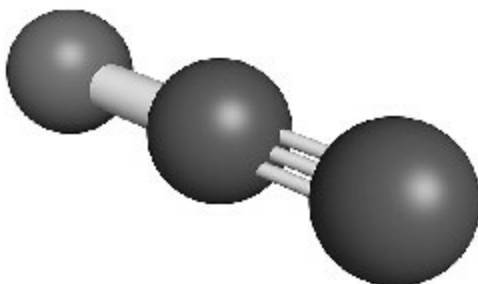
## II

### EL DOMINIO DEL AIRE

#### LA RELACIÓN HUMANA CON EL AIRE

Llegados a este punto, hemos dado respuesta a dos grandes preguntas sobre el aire: de dónde viene nuestra atmósfera y cuáles son sus principales ingredientes, el nitrógeno y el oxígeno. Sin embargo, cada vez que inhalamos aire absorbemos cientos de gases más que añaden matices y carácter a lo que respiramos, y sin esas historias nuestra comprensión de la atmósfera seguiría siendo superficial. Esos gases también nos ofrecen una nueva oportunidad: en lugar de hacer una crónica sobre el origen de cada gas, podemos examinar la *relación* humana con el aire: cómo hemos usado esos gases para mejorar nuestras vidas de cientos de maneras, comenzando por la medicina.

## Un hilarante gas que obra prodigios



*El óxido nitroso ( $N_2O$ ), actualmente 0,33 partes por millón en el aire; inhalamos 4.000 billones de moléculas con cada aliento.*

Una mañana de 1791, un profesor de Oxford llamado Thomas Beddoes experimentó el delicioso placer de escuchar a dos extraños chismorreando sobre él. Estaba desayunando en una posada cuando oyó su nombre, y al sentarse se dio cuenta de que ninguno de sus compañeros de mesa lo había reconocido. De carácter travieso, los incitó a seguir hablando, y sonrió al oír al más joven afirmar que Beddoes acababa de descubrir tres nuevos volcanes en Inglaterra. La mujer convino en que Beddoes era un prodigio científico, pero criticó su ateísmo y su apoyo a la Revolución francesa. «Salvando lo que pueda saber sobre fósiles y otras rarezas por el estilo», le aseguró, «es completamente estúpido y un incurable heterodoxo. Además, es tan gordo y bajo que serviría para un espectáculo [de monstruos]». Beddoes se alejó riéndose por lo bajo.

Lo cierto es que sus compañeros no sabían de la misa la mitad. A lo largo de los años, Beddoes se granjeó una reputación como el hombre más extravagante de la ciencia inglesa. Expuso a pacientes de tuberculosis a flatulencias de vaca para limpiar sus pulmones. Chupó lingotes de plata y de plomo para el probar el «gusto» del relleno de electricidad. Y predicaba todas estas ideas ante las multitudes más grandes que ningún profesor de Oxford había congregado desde la Edad Media. Pero en Beddoes lo más notorio era que fomentaba el uso de drogas que afectan a la mente, como el óxido nitroso ( $N_2O$ , el gas de la risa), para explorar la conciencia humana.

Aunque la mayoría se habían descubierto tan solo unos años antes, a finales del siglo XVIII ya habían salido de los laboratorios varios gases que se habían convertido en remedios populares. Esto suponía un nuevo giro para la química neumática: en lugar de limitarse a medir las propiedades de los distintos aires, como habían hecho las generaciones anteriores, estos científicos trabajaban con vistas a ayudar a la humanidad. Por desgracia, como suele ocurrir en la medicina, aquel campo también atrajo a numerosos charlatanes. Según a cuál de ellos se les concediera crédito, distintos gases podían curar tifus, úlceras y diabetes; anginas, catarro y pleuresía; diarrea, escorbuto y garganta irritada; e incluso ceguera y sordera. Pero ningún gas produjo tanta excitación, ni tanto temor, como el óxido nitroso. Las investigaciones de Beddoes sobre este gas se situaban incómodamente a caballo entre la ciencia y la charlatanería. Y aunque sus experimentos con el gas de la risa conducirían, con el tiempo, a uno de los mayores descubrimientos de la historia de la medicina, murió convencido de que había sido un fracasado.

Beddoes se formó en medicina, que practicó del mismo modo que Sócrates practicaba la filosofía, criticando a todos sin importarle su rango o posición. Vituperaba a los doctores de los caballeros por ignorar el sufrimiento de las masas, pero con igual fervor denunciaba a quienes se aprovechaban de esas masas vendiéndoles bálsamos y tinturas inútiles. Beddoes buscaba un camino intermedio, y un día de 1791, mientras atravesaba un pasto embarrado, de repente comprendió cómo podía lograrlo.



*Thomas Beddoes, todo un tábano de la medicina.*

La mayoría de los médicos de aquella época atribuían los orígenes de todas las enfermedades a bolsas de aire envenenado. (Malaria significa literalmente «mal aire».) Así se explica que en las viejas novelas los hombres y mujeres enfermizos se pasaran la vida visitando hoteles junto al mar o sanatorios en la montaña, lugares donde podían respirar de forma libre y fácil. Beddoes creía en los aires buenos y malos tanto como cualquiera, pero también había estudiado química con Joseph Black, el descubridor del dióxido de carbono. Un día, mientras daba un paseo por un lugar enlodado, se le ocurrió una idea: ¿por qué no fabricar sus propios aires y forzar a los pacientes a respirarlos?

Inspirado, Beddoes comenzó a recolectar noticias sobre personas que se habían visto expuestas a distintos gases, y también empezó a realizar experimentos sobre él mismo. Así descubrió, por ejemplo, que aspirar oxígeno lo hacía inmune al frío, y en unas semanas logró quemar ocho kilos de su propia constitución. (Por desgracia, el tratamiento también le secó la piel y le provocó hemorragias nasales de un color rojo alarmante.) Finalmente, recogió todos sus experimentos e informes en un ambicioso libro que incluía varias afirmaciones dudosas, como que los gases podían encoger los tumores, o acabar con la necesidad de dormir.

Entre tanto, Beddoes esbozó un plan para abrir un centro de investigación, la Institución Neumática, donde pudiera hacer ensayos con



gases de forma sistemática. (De todas formas, estaba a punto de ser despedido de Oxford por escribir pasquines apoyando la Revolución francesa.) Concebía la Institución Neumática como un hospital para tratar pacientes y como un laboratorio para probar nuevas curas, lo que tal vez lo convierte en el primer verdadero centro de investigación médica. El proyecto no era barato, de modo que Beddoes buscó patrocinadores en el viejo club social de Joseph Priestley, la Sociedad Lunar de Birmingham. Varios miembros eminentes soltaron la mosca, entre ellos los Wedgwood, de la famosa casa de cerámica fina. James Watt, el renombrado inventor de máquinas de vapor, acordó construir equipos para él a precio de coste.

Generosidad aparte, Watt tenía un interés personal en las investigaciones de Beddoes. Entre otras enfermedades, Beddoes tenía la intención de abordar la tisis (la tuberculosis pulmonar). Como las víctimas de la guerra química, las personas que sufrían de tisis se asfixiaban lentamente a medida que su pecho se llenaba de fluido. También sufrían escalofríos y sudores, y escupían sangre mientras aguardaban la muerte. Watt conocía estos síntomas muy bien porque su hija Jessie estaba enferma de tuberculosis. Ya había intentado todo tipo de remedios: digital, láudano, infusiones de corteza, curas por producción de ampollas, sangrías, incluso «voltearla atada a una cuerda hasta marearla». Como último remedio, Watt le permitió a Beddoes que la tratara con un gas, dióxido de carbono. Murió a la semana.

Beddoes se encogió de miedo a la espera de la ira de Watt. De tan famoso como era, podía destruir la Institución Neumática antes incluso de que abriera sus puertas. Pero Watt era un hombre amable y reflexivo, y en lugar de culpar a Beddoes, redobló su compromiso: construyó un horno portátil con varios tubos de destilación y cámaras de reacción para crear nuevos gases a voluntad. También desarrolló varias formas ingeniosas de recoger los gases, ya fuera en fuelles (para bombearlos a los pulmones), ya en bolsas de seda verde con una boca (para aspirarlos cómodamente). Beddoes quedó encantado con los dispositivos, que costaban apenas 14 libras, y declaró que pronto preparar dosis de gases sería «tan fácil... como alinear una carne».

Solucionado el problema de la financiación y los equipos, Beddoes se centró en conseguir un terreno y un ayudante cualificado. Para el terreno escogió Bristol, una ciudad poco cara con manantiales naturales que atraían a

muchedumbres de pacientes de tuberculosis. De hecho, un historiador ha observado que Bristol «se había convertido en un “salón de último recurso”, la lúgubre estación de término para aquellos a quienes habían fallado todos los otros remedios. [...] Los propietarios de los alojamientos y hoteles hacían también las veces de organizadores de funerales». Beddoes calculó, correctamente, que muchos pacientes estarían lo bastante desesperados como para probar suerte con sus curas de gas.

Como ayudante, Beddoes se dirigió una vez más a Watt. A finales del siglo XVIII, el hijo de Watt, Gregory (también tísico), hizo una estancia de reposo en el suroeste de Inglaterra, donde se alojó con una viuda llamada Grace Davy. El hijo adolescente de la viuda, Humphry, se había ganado una buena reputación en el lugar como químico brillante y excéntrico, a la altura de Beddoes. En una ocasión construyó una bomba de aire, que entonces era un equipo sofisticado, a partir de una jeringa para enemas que había llegado a la costa tras el naufragio de un barco. También había pintado duendes en las paredes de la habitación de su hermana con una sustancia a base de fósforo que brillaba en la oscuridad. Escribía intensos y visionarios poemas y daba largos y solitarios paseos por los acantilados de Cornualles, de los que a menudo regresaba magullado y sangrando.

Aunque rechazado al principio, a medida que pasaban los meses Gregory Watt fue ganándose a Davy. Se hicieron colegas de bebida (sobre todo brandi), y animó a Davy a escribir a Beddoes. Emocionado ante la oportunidad de establecer contacto con un científico de verdad, Davy le envió a Beddoes doscientas páginas de farragosos ensayos sobre el calor, la luz, la electricidad y los gases. La mayoría no tenían nada que ver con la medicina, pero revelaban una fina mente científica, y a los pocos meses Beddoes contrató a Davy, un joven de diecinueve años a quien no había visto nunca, para realizar experimentos en la Institución Neumática. Davy nunca se había alejado a más de un día de camino de su casa, pero en octubre de 1798 hizo el viaje de 320 kilómetros hasta Bristol; para ahorrar dinero, compró el billete más barato que había, y tuvo que viajar encima de la diligencia. Su primera impresión de Beddoes fue que era gordo y bajo.

La clínica abrió sus puertas en marzo de 1799, y a primeros de abril Davy ya había estado a punto de matarse. La mayor parte de su trabajo cotidiano consistía en preparar gases y medir sus propiedades químicas. También exponía perros, gatos, conejos y mariposas a los gases y vigilaba cualquier cambio en su respiración o ritmo cardíaco. Pero, por encima de todo, Davy se desvivía por inhalar los gases él mismo, y para su primer experimento a gran escala preparó varios litros de monóxido de carbono. Tras la tercera inhalación, su pulso comenzó a acelerarse y se le trabaron los pulmones. A duras penas consiguió tambalearse hasta el jardín, donde un ayudante, aterrorizado, lo reanimó con oxígeno. Davy pasó el resto del día en la cama, vomitando y aquejado de un insoportable dolor de cabeza.



*Humphry Davy, químico, poeta romántico y cazador de elementos.*

Tanto daba. Tras una semana de reposo, Davy se volcó de nuevo en sus estudios para centrarse esta vez en otro gas supuestamente venenoso, el óxido nítrico. Lo preparó calentando cristales de nitrato de amonio en un recipiente hermético, muy despacio para evitar una explosión. Recogió los vapores en un fuelle. Su primera impresión fue que tenía un sabor dulce. Unas caladas más lo dejaron aturdido, pero su oído se tornó más agudo. Entonces notó una vieja sensación táctil, «una leve presión en todos los músculos». El episodio

alcanzó su clímax cuando dio un salto y empezó a dar vueltas por la habitación, gritando de alegría. Beddoes, que observaba todo aquello, dijo que Davy parecía estar experimentando un «orgasmo superior», y Davy apenas pudo conciliar el sueño aquella noche de tantos pensamientos como le cruzaban la mente.

Tras varias semanas de ensayos, Davy y Beddoes se convencieron de que el óxido nitroso no era venenoso, y se sintieron lo bastante seguros como para probarlo en un par de pacientes. Uno de ellos tenía un brazo medio paralizado a consecuencia de una épica velada de borrachera unos cuantos años antes. Unas pocas caladas del gas lo arreglaron, su mano dejó de estar agarrotada y consiguió asir objetos. El segundo paciente estaba en peor estado, «el ser humano más deshecho que uno pueda conocer», recordaría Beddoes. Pero también él respondió al óxido nitroso, alzándose como Lázaro y despojándose de sus muletas.

Las noticias sobre este notable gas comenzaron a extenderse por toda la ciudad, y no pasó mucho tiempo antes de que la bohemia de Bristol se dirigiera a Beddoes y Davy decididos a probarlo. Beddoes accedió al instante (las propiedades psiconáuticas del nuevo gas lo tenían fascinado), y animó a varios poetas con los que Davy había trabado amistad a que acudieran a tomar un sorbo de óxido nitroso. Los poetas se lo pasaron en grande aquella noche y volvieron a por más a la siguiente. Y a la siguiente. Al poco tiempo, la Institución Neumática llevaba una doble vida. Durante el día era una respetable clínica en la que Beddoes trataba pacientes y Davy realizaba experimentos. Por la noche se parecía más a un fumadero de opio, lleno como estaba de escritores y sus seguidores tumbados por todas las esquinas, aspirando gas nitroso de unas bolsas de seda verde.

Davy no pudo resistir la tentación de introducir un poco de ciencia en aquellas sesiones. Probó las respuestas sensoriales de sus sujetos pidiéndoles que siguieran la llama de una vela o escucharan el tintineo de unas campanas. Testó el poder de la sugestión preparando bolsas de placebo con aire normal y corriente para ver si quienes las consumían todavía decían estar colgados. (La respuesta fue que no.) Pero, por encima de todo, registró las respuestas personales, individuales, al gas de la risa. Algunos se alteraban o declamaban sinsentidos. Una salió afuera corriendo y, para su posterior mortificación,

saltó por encima de un gran perro. Pero lo más habitual era tirarse al suelo partiéndose de la risa. Más tarde, Davy los animó a describir con palabras sus sensaciones. El escritor local Samuel Taylor Coleridge comparó los efectos del óxido nitroso con entrar en una estancia calentada con fuego después de una tormenta de nieve. Su compañero poeta Robert Southey dijo efusivamente en una carta: «¡Qué gas ha descubierto Davy! [...] Lo hace a uno fuerte. ¡Y tan feliz! ¡Tan gloriosamente feliz! ¡Oh, excelente bolsa de gas! ¡Estoy convencido de que el aire del Cielo debe estar hecho de este mismo gas hilarante que obra prodigios!». (Está claro que uno de los síntomas del gas de la risa era el abuso de los signos de exclamación.) Pero el más elocuente fue un hombre que al salir de su viaje simplemente dijo: «Me sentí como el sonido de un arpa». Lejos de rechazar estas impresiones como algo no científico, Davy las analizó en busca de pistas sobre la psique humana. El gas de la risa parecía abrir la mente humana a nuevas vistas, y los poetas, con sus dotes lingüísticas, le permitían capturar todos los matices.

Entusiasmado con su trabajo, Davy comenzó a hacer jornadas de catorce horas. Raramente se molestaba en hacer comidas decentes durante sus horas de trabajo, y cuando la camisa estaba demasiado sucia para mostrarla en compañía, se ponía encima una prenda limpia y seguía trabajando. (Hacía lo mismo con los calcetines.) Luego, para relajarse después de un largo día, se preparaba media docena de bolsas de óxido nitroso y se colocaba. De hecho, se convirtió en una especie de adicto al gas, que aspiró diariamente durante meses. Algunas noches se iba a pasear por la campiña y caía dormido bajo la luna llena. Otras noches se quedaba en el laboratorio y mezclaba drogas. En una ocasión intentó tragarse una botella de vino lo más deprisa que pudo para luego dar caladas de gas. Acabó vomitando.

Otra noche probó una nueva unidad de inmersión en gas, construida por James Watt, que consistía en una gran caja con una silla en su interior. Davy entró en ella medio desnudo, con un termómetro en la axila y un abanico de plumas en la mano para agitar el aire del interior. A lo largo de setenta y cinco minutos, un ayudante fue introduciendo trescientos litros de óxido nitroso en la cámara. Davy salió tambaleándose, enrojecido y con una temperatura de 41 grados, pero insistió en tomar una calada más de una bolsa de seda. Aquello lo alzó al mayor subidón de su vida, una nueva dimensión de la embriaguez. En

cierto momento declaró ser «un ser sublime, recién creado y superior al resto de los mortales». Momentos más tarde balbuceó: «¡Nada existe sino pensamientos! ¡El mundo está hecho de impresiones, ideas, placeres y dolores!». Sonaba como un obispo Berkeley enloquecido.<sup>1</sup> Pero Davy consideraba que aquel testimonio era tan valioso como sus observaciones sobre el ritmo cardíaco o la dilatación de las pupilas.

Beddoes dejaba a Davy a sus anchas para realizar estos experimentos en parte porque tenía menos interés en colocarse, pero también porque andaba ocupado en su propia chifladura. Varios años antes, Beddoes había observado que los carniceros nunca parecían enfermar de tuberculosis. De hecho, parecían ser lo contrario de los pálidos y débiles tísicos, gente fuerte y robusta con una sana figura. Intrigado, anduvo preguntando hasta descubrir que la mayoría de los carniceros atribuían su buena salud a los vapores que inhalaban mientras despizaban las vacas y las ovejas.

Por ridículo que nos parezca hoy, a Beddoes la idea le pareció plausible. Unos pocos años antes su compatriota Edward Jenner había notado que las lecheras infectadas con pus de una enfermedad de las vacas conocida como viruela bovina nunca enfermaban de viruela, mucho más mortífera. Esa observación llevó a Jenner a desarrollar una vacuna para la viruela. Así pues, ¿por qué no habrían de tener también efectos medicinales los vapores de vaca?

Para poner a prueba su idea, Beddoes colocó camas en un cobertizo de vacas y trasladó allí a unos cuantos enfermos de tisis. Al principio dejó que las bestias se moviesen a sus anchas, soltando eructos y flatulencias a su gusto. «Vivir con vacas es lo más delicioso que pueda imaginarse», aseguraba a sus pacientes. Pero ellos no pensaban lo mismo. Asqueados por las condiciones en las que vivían, le exigieron a Beddoes que retirara las boñigas e instalara cortinas. No obstante, accedieron a pasar varios meses en el cobertizo respirando las exhalaciones de las vacas.



*Caricatura de los experimentos de Beddoes y Davy con gases. (Imagen por gentileza de Wellcome Trust.)*

Por ineficaz que fuese, esta «terapia de establo» probablemente fuese inocua desde un punto de vista médico, pero acabó dañando la reputación de Beddoes, o, por mejor decir, dañándola todavía más. El ateísmo y la política radical de Beddoes ya habían despertado la desconfianza en Bristol. (En cierto momento Davy había solicitado unas ranas para realizar unos experimentos, y cuando se rompió la jaula donde las guardaba y se escaparon por la ciudad, circularon rumores de que Beddoes las había comprado para alimentar a unos espías franceses que escondía en el sótano.) La terapia de establo ofreció a sus enemigos una nueva arma con que atacarlo y, como Joseph Priestley antes que él, el bajo y gordo Beddoes se convirtió en sujeto popular de las caricaturas. Las sesiones nocturnas de inhalación del gas de la risa proporcionaron aún más material para la sátira, y pronto todo el programa de investigación de Beddoes era objeto de burla en toda Europa.

Sin embargo, lo que acabó por condenar a la Institución Neumática no fue ni la política ni la sátira, sino la ciencia, pues por mucho que los pacientes disfrutasen con los subidones de óxido nítrico, pocos mejoraron. También aquí merece la pena comparar este caso con el de Jenner. A primera vista, la idea de Jenner de infectar personas con el pus de úlceras de viruela bovina parece discutible, incluso peligroso, y los tabloides lo atacaron aún más ferozmente que a Beddoes. (Una historia aseguraba que un chico del lugar se había metamorfoseado en vaca, con cuernos y todo, después de recibir la

vacuna. Por desinformados que estén, los activistas antivacunas de nuestros días quedan muy lejos de los ignorantes de otros tiempos.) Sin embargo, ningún nivel de ridículo infligido por la caterva de sabelotodos podía cambiar el hecho de que las vacunas funcionaban, y los pacientes acudían a millares. El óxido nítrico, en cambio, no curaba a nadie. Incluso aquellos que habían notado un alivio temporal de sus síntomas no tardaron en desarrollar tolerancia y volvieron a hundirse en la enfermedad. Beddoes y Davy también comenzaron a observar un número creciente de malas reacciones, pacientes con dolores de cabeza, apatía y malestar general. Una mujer sufrió «una serie de ataques de histeria» que se prolongó durante semanas.

Pese a todos estos contratiempos, Beddoes no dejó de promocionar sus curas, sin flaquear nunca en su fe en que los gases de algún modo podían transformar la medicina. Poco podía imaginar que su compinche Davy no tardaría en proporcionar a sus enemigos toda la munición que necesitaban, y lo que es peor, que cambiaría de bando.

En sus estudios, Davy podía ver, sin ninguna duda, que los gases causaban cambios fisiológicos. Pero la escasez de curas verdaderas lo frustraba, y él carecía del inquebrantable optimismo de Beddoes. Finalmente, hizo públicas sus preocupaciones en un libro de seiscientas páginas que publicó en 1800, *Researches, Chemical and Philosophical* [Investigaciones químicas y filosóficas]. Tal como indica el título, es una obra errática que pasaba de los más rigurosos experimentos de química a los pensamientos de Samuel Taylor Coleridge sobre los colicoes. Su conclusión, sin embargo, era clara y concisa: los gases eran una medicina inútil.

Dependiendo de la perspectiva de cada uno, el libro era una traición a su mentor o un correctivo poco escrupuloso pero necesario. Sea como fuere, a Beddoes le dolió, y él y Davy no tardaron en separarse. Gracias a la robustez de *Researches*, Davy consiguió un buen trabajo como científico en Londres, donde amplió sus investigaciones a nuevos temas. Por ejemplo, logró dominar el poder de la electricidad y sacar a la luz media docena de nuevos elementos químicos (sodio,\* potasio, bario, magnesio, calcio y estroncio), un récord mundial que se mantendría como tal durante 150 años. Llegada la década de



1820, Davy se había convertido en uno de los científicos más famosos de Inglaterra; nunca habría podido cenar de incógnito en una posada mientras unos extraños chismorreaban sobre él.

Entre tanto, la reputación de Beddoes se vino abajo. Los críticos nunca dejaron de burlarse de él, y cuando las donaciones se secaron en 1802, la Institución Neumática echó el cierre. Solo había durado tres años, y el propio Beddoes, otrora tan alegre, murió en Nochebuena seis años más tarde, todavía amargado por su fracaso. Y lo cierto es que él y su instituto probablemente se habrían perdido para la historia de no haber sido por una cosa.

De adolescente, Davy había pasado muchas horas deambulando por los acantilados de Cornualles y a menudo había regresado a su casa con rasguños y heridas abiertas. No fue menos descuidado en el laboratorio de Bristol, donde más de una vez se había rebanado el dedo hasta el hueso. Había notado, sin embargo, que sus heridas dejaban de escocerle en el momento mismo en que tomaba unas caladas del gas de la risa. Los dolores de muelas y de cabeza también desaparecían. Ocupado con otros trabajos, Davy no persiguió esta línea de investigación, pero incluyó un pasaje sobre la cuestión en la página 556 de *Researches*, una línea que bien podía haber descartado y sin embargo se convirtió en lo más famoso que escribió nunca: «Dado que el óxido nitroso [...] parece poder acabar con el dolor físico», observó, «probablemente podría utilizarse con mucho provecho durante las operaciones quirúrgicas». Aún hizo falta medio siglo más para que esta idea, la anestesia, obrara el milagro de la resurrección de la Institución Neumática.

La historia de la anestesia es la historia de un estafador y de su presa. Ningún timador de la historia hizo más por la humanidad como William Morton, pero nunca habría revolucionado la medicina de no haber sido por el desafortunado Horace Wells.

Antes de 1850 no era raro que la gente se suicidara antes que someterse a una operación quirúrgica, y la verdad es que no se les puede reprochar. No había detalle en la sala de operaciones que no fuera una promesa de dolor, desde el suelo, que estaba cubierto de arena para absorber la sangre y los vómitos, hasta el techo, con un tragaluz abierto para dejar escapar los gritos. Al nivel de los ojos, los pacientes se enfrentaban a bandejas de punzones y sierras, por no hablar de las filas de batas quirúrgicas manchadas de sangre. Y

una vez que comenzaba la carnicería, la principal preocupación no era la amabilidad o la delicadeza, sino la velocidad. Operaciones más complicadas que la extracción de una piedra de la vejiga o la amputación de una pierna eran sencillamente imposibles.

Los médicos tampoco disfrutaban con la cirugía. El joven Charles Darwin abandonó los estudios de medicina para siempre tras presenciar una operación a un niño que no dejó de soltar alaridos, e incluso los médicos más experimentados admitían el alivio que les embargaba cuando los pacientes se largaban. Además, con tantas coces y patadas y cuchillas afiladas, a veces eran los médicos lo que acababan muertos. Un observador, asombrado, dijo: «Lo que extraña no es que a veces muera el paciente, sino que el médico consiga sobrevivir».

Hoy nos parece obvio que el gas de la risa podía eliminar muchos de estos problemas, pero tardó en usarse como anestesia por varias razones. Beddoes había prometido tanto de los gases que cualquier sugerencia de que suprimían el dolor parecía hipóbole. Además, dormir a alguien con óxido nitroso requiere cierta destreza. A dosis bajas, puede animar al sujeto, justo lo último que querían los cirujanos.

Eso no significa que la gente ignorase el gas de la risa; al contrario, tras oír a Coleridge y otros poetas ponerse místicos sobre el gas en cuestión, la gente lo pedía a gritos, tanto que llegó a convertirse en una droga de moda en Europa y América del Norte. Había vendedores callejeros que despachaban inhalaciones por un módico precio en cualquier esquina, mientras que los ricos lo servían en lugar de vino en sus fiestas. (Y los químicos descubrieron óxido nitroso en la atmósfera, ¡un nanosubidón con cada aliento!) Pero para muchos lo más habitual era encontrarse con el gas de la risa en las ferias ambulantes, donde los voluntarios hacían unas cuantas inhalaciones y luego comenzaban a cantar, bailar o hacer piruetas para deleite del público.

Una noche de diciembre de 1844, un dentista de aspecto juvenil llamado Horace Wells asistió con un amigo a un espectáculo del gas de la risa en Hartford (Connecticut). A las pocas inhalaciones ya estaban corriendo por el escenario hasta quedar con la mente en blanco. Wells recuperó los sentidos varios minutos más tarde, y le sorprendió ver la pierna de su amigo empapada en sangre. El amigo estaba igualmente sorprendido; no tenía la menor idea de

lo que había ocurrido. (Los testigos le explicarían después que se había dado un golpetazo contra un sillón.) Aun más sorprendente era el hecho de que el amigo se comenzó a dar cuenta de que sentía un terrible dolor, pero hasta aquel momento, cuando se le pasó el colocón, no había sentido nada.



*Horace Wells, pionero de la anestesia y desafortunado hombre de negocios.*

Aquella noche, Wells no paró de pensar en lo que le había dicho su amigo: «No sentí dolor hasta que se acabó». A la mañana siguiente buscó al director del espectáculo y lo arrastró hasta su oficina, junto a otro dentista. El maestro de ceremonias preparó una gran bolsa de óxido nitroso, Wells la inhaló y perdió el sentido en el sillón del dentista, con la cabeza colgando hacia atrás. A toda prisa, el amigo dentista agarró unas tenazas y le arrancó una muela del juicio que llevaba un tiempo molestándole. Al rato, Wells recuperó el sentido y notó con su lengua el hueco vacío. «No sentí ni el pinchazo de una aguja», se maravilló.

Durante las semanas siguientes, Wells probó el gas de la risa aquí y allí en Hartford, y parecía prometedor. Pero sabía que el auténtico reto era ganarse a Boston, el centro médico más puntero del país, de modo que se puso en

contacto con un viejo compañero de negocios, William Morton, un sinvergüenza de tomo y lomo.

Tras dejar la escuela durante la adolescencia, Morton había trabajado en una taberna en Worcester (Massachusetts), donde lo pillaron robando de la caja, y con los años fue progresando hacia los cheques falsos, el desfalco y el fraude por correo. También dejó plantadas a varias prometidas y fue excomulgado por su iglesia. Rochester, Cincinnati, San Luis, Baltimore... no tardó en agotar las grandes ciudades de Estados Unidos. Pese a ello, su buena planta, su encanto y su buen vestir le garantizaban un buen recibimiento allí donde fuera.



*Wm. G. Morton*

Thos. Peirce & Co., Lith. Boston.

*William Morton, pionero de la anestesia y mafioso de éxito.*

Morton decidió por fin llevar una vida honrada y aprendió el oficio de dentista con Wells. No se le daba nada mal; por aquel entonces, a los dentistas no se les requería una sólida formación médica, mientras que se valoraba mucho en ellos la seguridad y la buena apariencia, y esos eran los fuertes de Morton. No tardó en abrir su propia consulta y contrajo matrimonio con una buena chica. Pero cuando Wells inventó un nuevo tipo de baño de oro y le

propuso a Morton que se metieran juntos en el negocio, la vieja comezón del dinero fácil le pudo. Morton se agenció el capital que Wells había conseguido recaudar y se lo gastó.

Wells debía estar muy desesperado por establecer contactos en Boston para ponerse en contacto con Morton otra vez. Este, en cambio, estaba encantado de poder participar en aquel estupendo proyecto. Cada día se arrancaban dientes de miles de pacientes en Estados Unidos y Europa, y Morton ya se veía vendiendo óxido nitroso a todas las clínicas. De este modo, en enero de 1845, antes de que Wells se sintiera preparado, Morton organizó una demostración pública en el Hospital General de Massachusetts.

La sala de operaciones del Hospital General era un pequeño y acogedor anfiteatro con filas de bancos de madera para los espectadores. En una esquina había una momia, y la pared trasera del quirófano estaba repleta de ganchos, anillas y poleas para sujetar a los pacientes con cuerdas.

Wells podía conseguir que todos aquellos ganchos y poleas se quedasen obsoletos al instante, pero el destino tenía otros planes. El paciente original se había echado atrás del miedo que tenía antes de que Wells llegase, así que un estudiante de medicina del público se presentó voluntario para que le extrajesen un diente malo. (Al parecer, en aquella época todo el mundo tenía una muela o dos en mal estado.) Con Morton mirando entre el público, Wells durmió al paciente y empezó a aflojar el diente. De lo que ocurrió después hay varias teorías. Quizá Wells no tenía gas suficiente. (Los jóvenes suelen necesitar más anestesia porque su hígado la metaboliza más deprisa.) O tal vez Wells apartó la bolsa de los labios del paciente demasiado pronto. O no hizo nada mal: algunas personas simplemente no se duermen muy profundamente. Sea como fuere, cuando Wells tiró del diente, el paciente se quejó. Más tarde, cuando el estudiante se despertó, insistió en que no había sentido nada. Pero ya era demasiado tarde. En cuanto el público oyó el gruñido, comenzó a gritar «¡Camelo! ¡Camelo!». Ni siquiera William Morton había escapado tan deprisa de una ciudad.

Morton solo se encogió de hombros ante aquel revés. ¿Qué eran unos cuantos médicos lenguaraces comparados con la policía de Baltimore o los padres de una prometida plantada? Si el óxido nitroso no funcionaba como

anestesia, habría que encontrar algo mejor. Y lo bueno del caso es que lo hizo. Pese a carecer de cualquier tipo de formación química o médica, en menos de un año ya había dado con el éter.

A primera vista, el éter no parece prometedor como anestesia, pues esta normalmente se inhala, mientras que el éter es líquido a temperatura ambiente (hierve a 34 °C). Lo que salva al éter es su tendencia a evaporarse, su volatilidad. La volatilidad de un líquido depende de dos factores, el peso y la polaridad. El peso es fácil de entender. La evaporación se produce cuando las moléculas de la superficie de un líquido se elevan y tornan gaseosas, y eso es más fácil cuando se pesa menos. (Hay una buena razón para que las gimnastas sean pequeñas.) La polaridad implica carga eléctrica. Los átomos suelen ser eléctricamente neutros, pero cuando empiezan a intercambiar electrones y organizarse en moléculas, adquieren carga. El oxígeno, por ejemplo, suele robar electrones a sus vecinos, adquiriendo carga negativa. El hidrógeno, en cambio, suele ceder sus electrones y se hace positivo. Las moléculas polares, como el H<sub>2</sub>O, tienen regiones positivas y negativas. La consecuencia de ello es que son menos volátiles y se mantienen en estado líquido durante más tiempo que las moléculas no polares porque los extremos positivos y negativos se atraen como imanes. Esta atracción hace que a las moléculas polares les sea más difícil dar el salto y convertirse en gas.

Cada sustancia tiene una volatilidad distinta dependiendo de su peso y polaridad. Los gases no polares como el nitrógeno y el oxígeno son tremendamente volátiles: su punto de ebullición se sitúa por debajo de -185 °C. En comparación, la molécula de agua es fuertemente polar, y aunque pesa menos que las moléculas de oxígeno o nitrógeno, se mantiene en estado líquido a temperaturas casi trescientos grados más altas. El éter (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>-O-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>) cae en un punto intermedio. Es pesado, unas cuatro veces más que el agua. Pero apenas es polar: sus diez hidrógenos se sitúan de forma bastante uniforme alrededor de la molécula, por lo que su superficie es básicamente positiva. En consecuencia, las moléculas de éter muestran poca afinidad unas hacia otras, y si se pone un vaso de agua y uno de éter sobre una mesa, se comprobará que el éter se evapora docenas de veces más rápido. Eso es útil en una sustancia anestésica.

Morton no sabía absolutamente nada de toda esta ciencia, pero conocía el éter, una manera barata de colocarse,\* de abotargar los sentidos, la marihuana de su tiempo, de modo que comenzó a probarlo en animales de la granja de su padre: vacas, caballos, gusanos, el spaniel de la familia, incluso algunos peces.\* Las pruebas fueron bien, así que hizo otro encargo de éter (a otro boticario, para enmascarar sus planes) y durmió a un amigo que tenía una muela del juicio impactada. Un nuevo éxito: el amigo se despertó sin diente, preguntándose cuándo iba a empezar la operación. Con los signos del dólal desfilando ante sus ojos, Morton corrió una vez más al Hospital General de Massachusetts para organizar una demostración en octubre de 1846.

La organizó con el Dr. John Warren, en cierto sentido el héroe de esta historia. Aunque excéntrico (pasaba buena parte de su tiempo libre reconstruyendo un esqueleto de mastodonte), Warren era el cirujano más eminente de Estados Unidos, y con sesenta y seis años podía empezar a pensar en retirarse. Pero el dolor que infligía a sus pacientes siempre lo había obsesionado. Es verdad que ya se conocían entonces algunos analgésicos. Los pacientes podían emborracharse hasta el estupor o fumar opio. Se podía entumecer un miembro con hielo o dejar que los médicos sangrasen al paciente hasta que perdiera el conocimiento. Algunos doctores también practicaban la «anestesia por contusión»: fajaban la cabeza del paciente con un casco de piel y le golpeaban el cráneo con un mazo. (Si eso fallaba, todavía les quedaba el recurso del golpe directo a la mandíbula.) Pero todas estas técnicas tenían desventajas, aparte de las obvias. El alcohol, por ejemplo, adelgazaba la sangre y hacía más probables las hemorragias. Y ninguno de los métodos realmente dormía al paciente o eliminaba el recuerdo de la cirugía.

La mayoría de los cirujanos simplemente aceptaban el dolor como algo inevitable, uno de los males de la vida. Warren, sin embargo, no se dejaba llevar por ese pesimismo. Ya había pasado la edad en la que se suelen hacer los grandes descubrimientos, pero aún tenía la esperanza de contribuir de algún modo a convertir la anestesia en una realidad. Así que cuando Morton lo abordó para explicarle lo del éter, Warren se tragó sus recelos. Había un pintor de brocha gorda que necesitaba que le extirparan un tumor que le crecía bajo la mandíbula izquierda, así que Warren le pidió a Morton que se presentara a las diez en punto de la mañana del viernes 16 de octubre.

Morton pasó aquella mañana inmerso en un pánico poco habitual en él. Aunque ciertamente no se oponía a poner fin al sufrimiento en el mundo, investigaba la anestesia con el objeto de ganar dinero. El problema era que el éter era una sustancia química común, lo que quería decir que no podía patentarlo. Por eso planeó mantener su identidad en secreto, pero la misma propiedad que convertía al éter en una anestesia viable, su volatilidad, amenazaba con desbaratar sus planes. El éter tenía un aroma dulzón, y el hecho de que se evaporase tan deprisa significaba que ese aroma no sería sutil. El éter apestaba. Morton intentó enmascarar su olor con piel de naranja, pero el éter siempre acababa por hacerse notar. Así pues, Morton, que hasta entonces simplemente había vertido éter sobre un paño para que lo inhalaran los pacientes, construyó un aparato respirador especial, con la intención de incrementar sus posibilidades de hacerse con una patente.

Insatisfecho con su aparato, Morton pasó el día y la noche anterior a la demostración diseñando uno nuevo, o más bien persuadiendo a algunos amigos con dotes para la mecánica para que le diseñaran uno. De madrugada, corrió a ver a un maquinista para que lo fabricara como pudiera. El resultado fue un bulbo de cristal, una esponja en el interior del bulbo para contener el éter y varias válvulas y tubos para permitir el flujo de aire. El conjunto parecía una shisha. Como tardó tanto en tenerlo acabado (cuando salió corriendo del taller ya habían tocado las diez), Morton llegó al Hospital General sin haberlo probado.

Menudo desparpajo. Un hombre sin formación médica alguna, que llevaba despierto casi toda la noche, iba a administrar una droga prácticamente no testada por medio de un dispositivo que nunca antes había utilizado, bajo la atenta mirada del más destacado cirujano del país. En esta ocasión, hasta la siempre amantísima esposa de Morton dudó de él, y pasó el día dando vueltas de un lado a otro de la cocina, convencida de que Morton mataría al paciente y acabaría en la cárcel. Pero en cuanto tuvo el inhalador en la mano, Morton sintió cómo crecía en él la confianza del antiguo estafador, y la sonrisa le volvió a los labios.

Mientras tanto, el Dr. Warren echaba humo. El público ya se había congregado en la sala de operaciones, el pintor yacía dispuesto, con bata y calcetines. Pero dieron las 10:10 y Morton no aparecía. Luego las 10:20. La



momia de la esquina miraba fijamente. Por fin, Warren tomó el escalpelo, suspiró y se dirigió al paciente. Otra esperanza frustrada. El tumor bajo la mandíbula de aquel hombre era básicamente una vena hinchada, roja y moteada, y tan grande que se le abultaba en el interior de la boca: el paciente podía notarla con la lengua. La extirpación sería rápida, pero dolorosa. El pintor se echó para atrás y se agarró a la camilla, preparado para sacudir el tragaluz con sus gritos.



*Reconstrucción de la primera operación quirúrgica en la que se usó éter como anestesia.*

En ese mismo instante, Morton apareció por la puerta, despidiendo encanto igual que el éter despide su aroma. Toda su vida como estafador lo había preparado para aquel momento. Warren se giró y le dijo, mordaz: «Su paciente está listo». Morton sonrió y se acercó con su cachimba de éter, manipulando las válvulas como un experto. Unos minutos más tarde, el pintor se había dormido, sumergido en el olvido. Morton se dirigió a Warren y le dijo: «*Su* paciente está listo».

La cirugía duró más de lo esperado, pero por lo demás fue como una seda y el pintor ni se movió. El público de aquel día, formado sobre todo por estudiantes de medicina que asistían sin saber qué iban a presenciar, recordarían más tarde una sola cosa por encima de todo: el silencio. No hubo

gritos ni patadas, solo el sonido sedoso de un escalpelo cortando la carne. Warren y Morton se habían lanzado pullas aquella mañana, pero una vez finalizada la operación fueron las últimas palabras de Warren las que pasarían a la historia. «Señores», anunció, «esto no es un camelo». El público los aclamó.

Los cirujanos no tardaron en descubrir que el éter tenía varias ventajas sobre el óxido nitroso, pues producía una inconsciencia más profunda y requería menos destreza para dar con la dosis precisa. Esto, a su vez, les permitió desarrollar procedimientos más largos y complicados que penetraban más en el interior del cuerpo. En un sentido más amplio, la anestesia también ayudó a salvar la reputación de la propia cirugía. Durante siglos, otros médicos habían despreciado a los cirujanos, a quienes tenían por carniceros, un juicio injusto pero comprensible. La anestesia le dio la vuelta a ese veredicto, convirtió a la cirugía en algo heroico.

Hasta un granuja como Morton estaba maravillado ante el potencial humanitario del éter. El día que demostró el éter, regresó a su casa a las cuatro de la tarde y encontró a su mujer todavía dando vueltas por la cocina, convencida de que Morton acabaría en la cárcel. El semblante de preocupación en su esposo parecía confirmar sus peores temores, pero en lo más profundo, Morton estaba reflexionando sobre lo que acababa de ocurrir, sobre la nueva era de la medicina que acababa de inaugurarse. Desprovisto de su habitual desparpajo, abrazó a su mujer y le dijo, simplemente: «Querida, lo he logrado».

Lo que no logró fue ganar dinero con su descubrimiento. Durante el año siguiente consiguió registrar una patente de la idea general de la anestesia química, pero hasta el peor de los dentistas podía reconocer el olor del éter, y el secreto no tardó en quedar desvelado para dentistas y médicos. A partir de entonces, probablemente ninguna patente de la historia se ha violado tanto y con tan pocas consecuencias. Como si Morton hubiera intentado patentar el agua. El punto más bajo llegó cuando los cirujanos militares comenzaron a usar éter durante la guerra con México sin compensar a Morton, lo que significaba que el gobierno americano violaba su propia patente.

Amenazado por la ruina, Morton empezó a solicitar una indemnización de 100.000 dólares del Congreso, un solo pago en compensación por los ingresos perdidos. Pese a contar con varios defensores en el Congreso y el Senado, no logró nada. Para empezar, la falta de honestidad de Morton repugnaba incluso a la mayoría de los políticos. (Con el paso de los años, Morton llegaría a afirmar que había administrado éter personalmente a 200.000 soldados de la guerra de Secesión, una pretensión obviamente ridícula.) El Congreso también se negó a pagarle porque aparecieron reclamaciones parecidas\* de gente que aseguraba haber tenido la idea de la anestesia años antes que Morton. Un médico de Georgia, Crawford Long, había usado el éter en la cirugía en 1842, durmiendo a su paciente con un paño empapado en éter para extirparle dos tumores de la espalda; también había amputado el dedo de un niño esclavo. A la vista de esos casos, el Congreso decidió que Morton no había hecho nada especial. Siguió luchando por sus 100.000 dólares, pero finalmente sufrió una apoplejía y perdió la cordura en julio de 1868 mientras viajaba en un carruaje por la ciudad de Nueva York. (Le pidió al conductor que parase en Central Park y se tiró al lago para «refrescarse».) Murió en un manicomio días más tarde, todavía candente el debate sobre su legado.

Habiendo otras reclamaciones sobre el descubrimiento de la anestesia (algunas de las cuales se sostienen históricamente), ¿por qué el crédito se lo lleva Morton? ¿Fue este su último y más grande timo, estafar a la historia? No del todo. Antes que Morton, una docena de personas habían *propuesto* el uso de la anestesia. ¿Y qué? Fue Morton quien lo probó en pacientes, y era su cuello lo que se jugaba si hubiera fracasado. Morton merece más crédito que Wells porque, así es la suerte, su compuesto funcionó y el de Wells no. Si uno quiere darle el crédito a Crawford Long antes que a Morton, eso puede defenderse, pero la ciencia no es un empeño privado. La ciencia es pública, y en algunos sentidos los descubrimientos científicos no lo son hasta que se hacen públicos. Por varias razones, como la timidez, la falta de confianza o las acusaciones de brujería de parte de sus vecinos de Georgia (de verdad), Long se guardó sus ideas, y mientras tanto miles de personas siguieron sufriendo. Al final, Morton resultó ser una persona desagradable; la mayoría de quienes lo conocieron lo lamentaron. Pero tuvo los arrestos o la confianza irracional para perseguir su idea de la anestesia. Y aunque murió infeliz, para quien esté de

acuerdo con el utilitarismo (la mayor felicidad para el mayor número de personas), al convertir la anestesia en una realidad médica William Morton hizo casi más en beneficio de la humanidad que cualquier otra persona.

Quien un tiempo fuera colega de Morton, Horace Wells, murió en circunstancias aún más lamentables, destruido, irónicamente, por la otra gran anestesia del siglo.

El cloroformo llegó a la medicina gracias al Dr. James Simpson, un tocólogo de Escocia con aspecto de troll que deseaba aliviar el dolor del parto pero halló que el éter no era apropiado: funcionaba demasiado lentamente, el olor provocaba vómitos en las mujeres embarazadas y requería altas dosis antes de surtir efecto. Así pues, durante las noches sin trabajo Simpson empezó a buscar un sustituto. Sus experimentos no seguían precisamente el método científico: echaba en un barreño de agua caliente unas gotas de algún producto químico escogido al buen tuntún y luego aspiraba los vahos hasta que se sentía aturdido. Un historiador dijo de su método que era más propio de «los abusos de un adolescente que esnifa cola» que de un verdadero científico; un amigo solía visitarlo a la hora del desayuno para cerciorarse de que no se había matado durante la noche. Por fin, en 1847, Simpson dio con el cloroformo,  $\text{CHCl}_3$ . Como el éter, el cloroformo solo es un poco polar. La mayor parte de las caras externas de la molécula tienen carga negativa, pero como su peso es más o menos el doble que el del éter, el cloroformo es más perezoso y tarda más en evaporarse, de modo que los doctores podían controlar mejor cuánto inhalaban los pacientes.

Por útil que fuese para la cirugía, el cloroformo resultó ser controvertido en la disciplina de Simpson. Algunos tocólogos sostenían que las madres no establecerían un vínculo con sus hijos si no experimentaban el dolor suficiente. A otros les preocupaba (no está claro en base a qué observaciones) que de algún modo la anestesia convirtiera el dolor en placer, como si de repente el parto fuera a convertirse en un tremendo orgasmo. Muchos también temían contravenir la voluntad de Dios, que había condenado a Eva a parir con dolor por haber traído el pecado al mundo. Unos pocos médicos proponían incluso negar el bautismo a los niños nacidos bajo anestesia. Simpson respondía a tales objeciones citando también el Génesis: para crear a Eva, «Dios hizo caer un sueño profundo sobre Adán» antes de tomar una de sus

costillas, lo que le parecía una clara referencia a la anestesia. El debate quedó finalmente resuelto cuando John Snow (el médico del cólera famoso por el «mapa fantasma») administró cloroformo a la reina Victoria durante el parto de su séptimo hijo, el príncipe Leopoldo, en 1853. A partir de entonces, a los médicos les faltó tiempo para cantar las virtudes del cloroformo.

Por desgracia, como antes el éter y el óxido nitroso, el cloroformo resultó ser adictivo, y probablemente el más célebre de los adictos fuese Horace Wells. Tras su desgraciada demostración en el Hospital General, Wells había abandonado la odontología para dedicarse a otros quehaceres, como vender alcachofas de ducha, traficar con aves exóticas o vender pinturas falsas a ricos paletos de Estados Unidos. Este último plan lo llevó a París, donde, para su sorpresa, fue reverenciado como un genio por sus antiguas investigaciones sobre la anestesia. El rey Luis Felipe lo invitó a ocupar la posición de dentista real, un honor que declinó.

Tras regresar a Estados Unidos en 1847, Wells se mudó, sin mujer ni hijos, a Manhattan. Su viaje a Francia había reavivado su interés por la anestesia, así que adquirió un poco de cloroformo y comenzó a probarlo él mismo. Lamentablemente, su estancia en Francia no había disminuido el dolor de su humillación, y comenzó a disolverse diariamente en una bruma de cloroformo.

La adicción, y la necesidad de alimentarla, no tardó en ponerlo en contacto con delincuentes, y aquello fue su perdición. En enero de 1848 entró en su apartamento un hombre quejándose de que una prostituta le había tirado vitriolo (ácido sulfúrico), echando a perder su manto, y le pidió a Wells que le preparase un vial de ácido para vengarse. A Wells, que iba colocado, aquello le pareció justo y decidió acompañar a su amigo. Los vengadores lograron su objetivo (arruinar el vestido de la mujer), pero cuando el amigo le sugirió aprovechar la salida para atacar a otras mujeres, Wells objetó.

Se quedó con la idea, sin embargo, y unos días más tarde, durante una alucinación provocada por el cloroformo, cogió el vial de la repisa de la chimenea y corrió a la calle. Allí lanzó el vitriolo a dos prostitutas, quemando el vestido de una y el cuello de la otra. Wells salió corriendo, enloquecido, y perdió todo recuerdo de lo que ocurrió después. Otras dos damas de la noche

consiguieron desarmarlo y reducirlo, y le contaron a los policías que habían visto cómo Wells tiraba ácido a la cara de una joven, enviándola al hospital y dejándola marcada para el resto de su vida.

Un juez impuso una enorme fianza, pero permitió que Wells regresara a su casa escoltado por policías para recoger algunos artículos para su aseo personal. Mientras el oficial estaba distraído, Wells se coló en su baño y cogió una cuchilla y un último vial de cloroformo. A la noche siguiente, tras asistir a los servicios religiosos del domingo en la prisión, Wells le escribió una carta a su esposa, que estaba en Connecticut y no tenía la menor idea de que lo habían arrestado. Habiendo puesto sus asuntos en orden, empapó un pañuelo en cloroformo, se lo llevó a la boca y lo fijó con la ayuda de otro pañuelo. Cuando la anestesia empezó a hacer efecto, se rasgó el muslo con la cuchilla, cortando la arteria femoral. A la mañana siguiente, los guardias lo hallaron muerto en un charco rojo y pegajoso.

Algo más tarde aquel mismo día, un policía decidió buscar a la pobre mujer a la que Wells había lanzado ácido a la cara para comunicarle que había muerto y ayudarla a cerrar sus heridas. En el hospital más cercano no había nadie que respondiera a su descripción, así que probó con otro. Y luego otro. Y otro. Nadie tenía la menor idea de lo que les explicaba. Más tarde se supo que las prostitutas se habían inventado la historia. Fue un último y sórdido detalle de una historia repleta de ellos. Wells había descubierto cómo acabar con el dolor para todo el mundo, pero nunca logró vencer su propia angustia. El óxido nítrico, el éter y el cloroformo eran fármacos simples, de una sola molécula. En la actualidad, la anestesia suele consistir en un cóctel de fármacos, cada uno de ellos con una diana fisiológica distinta. Unos relajan la respiración, otros paralizan los músculos, otros alivian la ansiedad o interfieren en la formación de recuerdos. Así que en cierto sentido sabemos mucho sobre cómo actúan estos fármacos, puesto que podemos medir con exactitud cuánto afectan a la presión sanguínea, la temperatura del cuerpo y docenas de indicadores más.

En un sentido más amplio, sin embargo, es muy poco lo que sabemos sobre cómo actúan estas drogas porque no sabemos cómo afectan al cerebro. Eso da un poco de miedo. Sabemos que los compuestos anestésicos se disuelven preferentemente en los tejidos grasos del cerebro, y que obviamente

interfieren de algún modo en la función neuronal. Más allá de eso, poco más sabemos. El problema es que la anestesia perturba la consciencia (básicamente, la pone en pausa), y solo tenemos una vaga idea de cómo funciona la consciencia.

No obstante, varios estudios recientes sobre la anestesia han echado luz sobre parte del misterio. Una de las sorpresas es que el cerebro no se apaga simplemente bajo la influencia de la anestesia. Pensemos en una persona estirada en la mesa de operaciones bajo una profunda sedación. Si un cirujano corta algo y dice «¡ay!», los tímpanos del paciente siguen captando el sonido y las partes auditivas de su cerebro siguen registrándolo. Ni siquiera sedados nos desconectamos totalmente del mundo.

Dicho esto, la anestesia sí interfiere en los siguientes pasos de la cognición. En una persona bien despierta, los sonidos y los olores producen señales que se envían a otras partes del cerebro y provocan respuestas, *¡ah!*, o *¡ay!* Bajo el efecto de la sedación, estas señales nunca llegan a su destino, sino que se amortiguan y el resto del cerebro nunca llega a recibirlas. (Como diría un neurocientífico, el cerebro recibe esas señales, pero no las *percibe*.) En otras palabras, mientras que la anestesia no apaga el cerebro completamente, sí que apaga las conversaciones entre sus distintas partes.

Estos estudios también arrojan luz sobre cómo salen los pacientes de la anestesia. De manera intuitiva, uno pensaría que la anestesia simplemente «se agota» y poco a poco salimos de la sedación profunda, pero no es así, sino que el cerebro parece hacer saltos cuánticos entre estados de consciencia, doce en total, cada uno con una duración de varios minutos. Los científicos lo saben porque pueden detectar ondas cerebrales distintas en cada estadio. Bajo una anestesia profunda, las señales sensoriales básicas son pulsos efímeros, de baja frecuencia: cosas simples. A medida que el paciente comienza a salir de la anestesia, el parloteo del cerebro va cobrando magnitud y aparecen ondas de más alta frecuencia. Al poco tiempo se puede observar toda una cascada de señales que en lugar de morir rápidamente, saltan adelante y atrás entre regiones distantes. Estas señales siguen creciendo en complejidad hasta que el paciente se despierta completamente y todo su cerebro susurra.

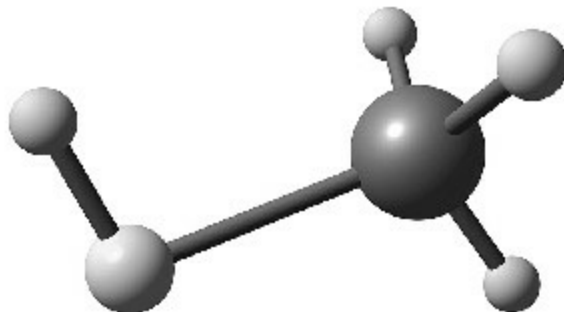
Además de apuntar a cómo funciona la consciencia, estas investigaciones podrían tener aplicaciones prácticas. Podrían ayudar a los médicos a juzgar el grado de letargo de los pacientes en coma y decidir si todavía están «ahí» a algún nivel, e incluso si pueden comunicarlo. Estos estudios también podrían acabar con uno de los horrores de la moderna cirugía, el hecho de que a veces algunas personas se despiertan en medio de una operación. Esta «percepción intraoperatoria» es muy rara (del orden de una de cada mil operaciones) pero cuando se da, es muy desagradable. Las víctimas notan cómo el cirujano les saja el abdomen, manipulan los órganos internos y aspiran la sangre. Y como les han dado relajantes musculares, no pueden avisar a nadie de su problema. No les queda otra que soportarlo, a veces durante horas.

La mayoría de las víctimas de la percepción intraoperatoria recuerdan poco de la experiencia, que queda envuelta en una bruma como algo irreal. Pero un puñado de pacientes lo recuerdan todo, incluso el dolor, y sufren pesadillas postraumáticas en las que los desuellan vivos. Algunos acaban suicidándose. Personalmente, no puedo imaginar peor tortura que la percepción intraoperatoria. (De haberla conocido, seguro que Dante la habría incluido en su *Inferno*.) Entender cómo pasa el cerebro entre distintos estadios de consciencia podría acabar con este horror en el futuro.

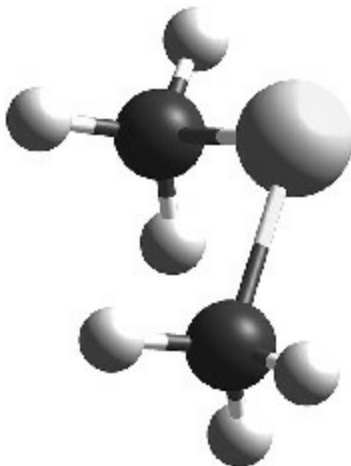
Igualmente importante es el hecho de que estas investigaciones podrían resolver uno de los mayores y más antiguos misterios de la filosofía: cómo surge la consciencia en el cerebro. Thomas Beddoes y Humphry Davy no curaron ninguna enfermedad con sus gases, pero en último término deseaban entender también la psique humana. Si realmente la anestesia puede iluminar las profundidades de la consciencia humana, tendrán más razones que nunca para celebrar estos hilarantes gases que obran prodigios.



## Interludio. Le Pétomane



*Metanotiol ( $\text{CH}_3\text{SH}$ , actualmente 0,000001 partes por millón en el aire; inhalamos 10.000 millones de estas moléculas con cada aliento (salvo que alguien cerca tenga gases).*



*Sulfuro de dimetilo ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$ ), actualmente 0,00001 partes por millón en el aire; inhalamos unos 100.000 millones de estas moléculas con cada aliento (salvo que alguien cerca tenga gases).*

En los últimos capítulos hemos examinado cómo afectan los gases a nuestra biología, desde el simple acto de respirar al funcionamiento profundo del cerebro. Hay, sin embargo, una omisión manifiesta: no hemos dicho nada de las flatulencias. No, no vale actuar como quien no lo ha pensado. Este es un libro sobre los gases en toda su variedad, y en ninguno pensamos más que en las ventosidades. Así que mejor nos relajamos, admitimos que todos somos curiosos y nos lo pasamos bien con el tema. Como sin duda hacía Joseph Pujol.

Érase una vez, en el sur de Francia, un adolescente llamado Joseph Pujol que se bañaba alegremente en la playa. Al inclinarse y prepararse para bucear bajo una ola, tomó una buena bocanada de aire... y notó un témpano de frío que lo atravesaba por el interior. Horrorizado, comprendió que había «inhulado» agua por el ano.

Momentos más tarde, el agua salió disparada por su recto, y se sintió mejor. No obstante, corrió a visitar al médico de familia, que se rio y le dijo que lo olvidara. Pero el chico no podía. Se negaba a ir a nadar y nunca comentó el incidente hasta sus veintipocos años, cuando entró en el servicio militar. Allí, en una de esas sesiones escatológicas que tienden a organizarse cada vez que se reúnen hombres jóvenes, Pujol describió lo que le había ocurrido en la playa. A sus camaradas, la historia les pareció hilarante y lo animaron a que lo intentara otra vez. La curiosidad pudo al temor, y en cuanto le llegó un permiso bajó a la playa y descubrió que podía administrarse un enema de agua fría y salada a voluntad.

Todo esto no habría pasado de ser una curiosa anécdota de no ser por un aciago día en que, quién sabe por qué, Pujol descubrió que podía hacer el mismo truco con aire. Primero se inclinaba doblado, lo que dificultaba su respiración, y entonces se tapaba la nariz y la boca y contraía el diafragma, expandiendo el volumen de su abdomen. En los gases, el volumen y la presión están íntimamente relacionados: cuando uno sube, el otro baja. Por lo tanto, al expandir su abdomen necesariamente reducía la presión en su interior, creando un vacío parcial. Normalmente, cuando el diafragma hace esto, el aire corre a llenar los pulmones. Pero como Pujol se había doblado y tapado la boca, el aire no le entraba por la puerta de delante, sino por la de atrás. Lo mejor de todo es que después de inhalar el aire, Pujol soltó el pedo más épico de su vida. Encantado, corrió a demostrar el truco ante sus compañeros soldados.

Pujol pasó los años siguientes perfeccionando su «habilidad» hasta conseguir un pedo de diez a quince segundos sin interrupciones. Descubrió, además, que podía alterar el tono y el volumen de sus pedos, de tocar notas musicales. Siempre había sido un niño un poco teatrero, que no paraba de cantar y bailar, así que cuando pulió su repertorio en el cuartel, se dejó crecer un mostacho y a mediados de la década de 1880 salió a la carretera con su espectáculo. Se hacía llamar Le Pétomane, el Pedómano.

Por fin, en 1892, se animó a hacer una audición para el Moulin Rouge, el famoso club nocturno de París. La entrevista de trabajo consistió en bajarse los pantalones, limpiar su «instrumento» absorbiendo un poco de agua (solía administrarse cinco enemas al día), y regalar al propietario con una serenata. Boquiabierto, el dueño lo contrató de inmediato.

Al principio, el público no sabía cómo tomarse a Le Pétomane, pero al cabo de dos años se había convertido en el artista mejor pagado de Francia, con ingresos de hasta 20.000 francos en algunos espectáculos, más del doble de lo que ganaba la legendaria actriz Sarah Bernhardt. Cuando se levantaba el telón, aparecía en el escenario vestido con esmoquin negro de satén, guantes blancos y capa roja. (Llevaba esmoquin en parte por la incongruencia y en parte para ocultar el esfuerzo de obligarse a tirar pedos una y otra vez.) Cuando comenzaban a apagarse las primeras risas, hacía imitaciones. Una ventosidad breve y aguda para la jovencita. Un cuesco con fundamento para la suegra. Una novia en la noche de bodas (un tímido pedito), y al cabo de unos meses de matrimonio (una tronada). Imitaba gallos, búhos, patos, abejas, sapos, cerdos y un perro cuya cola quedaba cogida en una puerta. Pero cuando el público realmente se volcaba era cuando tocaba la flauta al revés. Hacia el final, salía del escenario y volvía con un tubo insertado en el ano, como una cola. En el otro extremo había encajado un cigarrillo encendido, y entonces procedía a soplar anillos de humo por delante y por detrás al mismo tiempo. Para acabar, regalaba al público con una conmovedora interpretación de «La Marsellesa», y luego apagaba una vela a un metro de distancia.



*Le Pétomane podía cantar y hacer imitaciones con el ano.*

Las mujeres del público, sobre todo las que llevaban corsés apretados, a veces reían tanto que se desmayaban. Una vez, un hombre sufrió un ataque al corazón. (El Moulin Rouge aprovechó el caso para colocar enfermeras alrededor de la platea y poner carteles advirtiendo de lo peligroso que era el espectáculo, lo cual, naturalmente, solo hacía que la gente tuviera más ganas de verlo.) Y por si alguien se siente un poco culpable por soltar una risita con este humor escatológico (o es demasiado estirado para ver qué tiene todo esto de divertido), que sepa que Le Pétomane se codeaba con Renoir y Matisse, y que Ravel lo adoraba. Dice la leyenda que Freud tenía una foto de Le Pétomane en su pared, y que se inspiró en él para desarrollar su teoría de la fijación anal. Incluso el rey de Bélgica se acercó un día a ver al «flatulista», aunque de incógnito.

Pero ¿qué le pasaba ahí atrás a Le Pétomane? Para empezar, veamos en qué consisten los pedos. En parte son aire. Cada vez que tragamos comida o agua ingerimos unos pocos mililitros de aire. La mayor parte de ese aire lo expulsamos con eructos, pero una fracción, sobre todo si estamos estirados, se cuele hasta el estómago y los intestinos, donde comienza a migrar hacia el sur.

Alrededor del 75 por ciento de un pedo se produce en el propio cuerpo por acción de las bacterias del intestino, que producen una fermentación. Los legos solemos asociar la fermentación con la cerveza, pero es mucho más que eso: hace referencia a una gran variedad de casos en los que los carbohidratos son digeridos y descompuestos en metabolitos más pequeños. En este caso, las bacterias fermentadoras de los pedos se zampan y descomponen cadenas de carbohidratos produciendo dióxido de carbono, hidrógeno y metano, que luego los microbios expulsan de vuelta a nuestro intestino, llenándolo de gas. Decimos de algunos alimentos que producen gases porque contienen ciertos carbohidratos (la lactosa de la leche, por ejemplo, o la rafinosa de la col y el brécol) que no acaban de descomponerse en el estómago y se convierten en un festín para los microbios del intestino.

Un adulto normal expulsa con pedos alrededor de un litro y medio de gas al día, más o menos en veinte entregas. Pero las cifras varían enormemente. Le Pétomane se introducía casi tres litros con cada inhalación anal, y la literatura médica nos habla de un hombre que se tiraba unas diez docenas de pedos al día. Tales cantidades de gas pueden provocar roturas en los intestinos si se quedan atrapados y no encuentran la salida. En un caso especialmente espantoso, unos cirujanos que estaban cauterizando el colon de un hombre le prendieron fuego a una bolsa de gas que al estallar dejó un agujero de quince centímetros en su abdomen.

Sorprendentemente, más del 99 por ciento del gas de los pedos no huele a nada, ni siquiera el metano, pese a su mala reputación. El hedor de las ventosidades se debe sobre todo a unos pocos componentes traza: sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), que apesta a huevos podridos; metanotiol ( $CH_3SH$ ), que hiede a plantas podridas; y sulfuro de dimetilo ( $CH_3SCH_3$ ), que tiene un repugnante olor dulzón y empalagoso. Conjuntamente se conocen como

compuestos volátiles de azufre y, como ya se ha dicho, salen de las panzas infladas de las bacterias. Estos mismos gases también ponen su grano de arena en el mal aliento de la mañana. (Mejor no pensar demasiado en esto.)

Así son los pedos. Sin embargo, nada de eso tiene que ver con Le Pétomane. Recordemos que no se hinchaba a brécol ni se atracaba con leche para llenarse de gas los intestinos, sino que se limitaba a inhalar simple aire para luego empujarlo a la salida. Por ello, los pedos del pedómano no apestaban (al menos los del escenario). De hecho, evitaba en sus espectáculos el humor escatológico, que consideraba vulgar. Se veía más bien como un artista a medio camino entre el cantante y el imitador, como un Hombre de las Mil Voces de vodevil.<sup>1</sup>

Todo esto nos lleva a una pregunta seria, aunque sorprendente. Los dos extremos del cuerpo tienen tubos que permiten el paso del aire. Entonces, ¿por qué no «hablamos» por el trasero?\* No hay, de entrada, ninguna razón para que no sea así. El ano carece de cuerdas vocales, naturalmente, pero tampoco son tan especiales, solo unos pliegues que impiden que el agua y los alimentos entren en nuestras vías aéreas; en todo caso, el esfínter anal puede sonar como la boca de un trompetista, lo cual es casi tan bueno. Un problema más grave es que nuestro ano carece de labios y lengua (por suerte), que son los órganos que modulan el aire saliente para formar las palabras. Pero lo cierto es que para la comunicación básica podríamos arreglárnoslas con un instrumental mucho menos complicado. Así pues, en términos generales, la evolución podía haber dado un vuelco hace mucho tiempo desarrollando unos pliegues más sofisticados alrededor del ano que hicieran posible el habla rectal. Al parecer, algunas especies de arenque se comunican por medio de ventosidades.

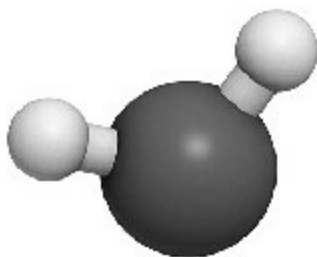
Tras varios años gloriosos en el Moulin Rouge, Le Pétomane tuvo algunos problemas legales con el dueño. Primero lo sorprendieron cantando en un puesto de pan de jengibre de un mercado, donde intentaba atraer clientes para un amigo, y el dueño del Moulin Rouge lo denunció por violación de contrato, argumentando que Le Pétomane solo podía entonar sus pedos dentro del club. (La prensa se lo pasó en grande con todo aquello.) Al final el flatulista se despidió para montar su propio club, lo que suscitó nuevas trifulcas legales, sobre todo cuando el propietario del Moulin Rouge encontró

una flatulista para reemplazarlo. (Resultó ser un fraude: llevaba unos fuelles ocultos bajo las enaguas. Al principio de su carrera, cuando lo acusaron de lo mismo, Le Pétomane se desnudó ante unos médicos para que lo examinasen.)

Aunque ya no era el artista mejor pagado de Francia, Le Pétomane se ganó la vida razonablemente bien en su nuevo club durante dos décadas, hasta que 1914 puso Europa patas arriba. Ya nadie tenía tiempo para frivolidades, ni siquiera en la familia de Le Pétomane: dos de sus hijos resultaron mutilados en el frente. En cualquier caso, tras los infames ataques con gas de la primera guerra mundial, una comedia basada en los gases resultaba de mal gusto.

Después de la guerra, Le Pétomane sentó la cabeza y abrió una panadería; parece que hacía las mejores magdalenas de los alrededores. Cuando murió, un mes después del día de la victoria en 1945, varios médicos pidieron autorización a la familia para averiguar qué había en sus tuberías que le permitiera inhalar gases de aquella manera. Lamentablemente, nunca lo sabremos, porque la familia no dio su consentimiento. Tal como lo expresó uno de sus hijos: «En esta vida hay cosas que deben ser tratadas con respeto».

## Caos controlado



*Agua (H<sub>2</sub>O), en concentración variable, dependiendo del paisaje y el clima; inhalamos de unos pocos miles de millones a varios miles de billones de moléculas con cada aliento.*

Por lo general, ser llamado a juicio ante el emperador del Sacro Imperio Romano Germánico no era motivo de celebración, pero Otto Gericke, el alcalde de Magdeburgo, en Alemania, sentía crecer su confianza a medida que su carro traqueteaba hacia sur. Al fin y al cabo, tal vez estuviera a punto de realizar el mayor experimento científico de la historia.

Gericke, un clásico caballero científico, estaba obsesionado con la idea del vacío, de los espacios cerrados que no contenían nada. Lo que la mayoría de la gente sabía entonces sobre el vacío era la sentencia de Aristóteles: que la naturaleza lo aborrece\* y no lo tolera. Pero Gericke sospechaba que la naturaleza tenía una mente más abierta, de modo que a principios de la década de 1650 se dispuso a crear un vacío. Su primer intento consistió en evacuar el agua de un barril con la ayuda de la bomba de agua de la brigada de bomberos. El barril al principio estaba lleno de agua y perfectamente sellado de manera que en él no pudiera entrar nada de aire. Por consiguiente, al extraer el agua solo debería quedar un espacio vacío. Por desgracia, a los pocos minutos de bombear, las duelas del barril empezaron a presentar grietas por las que corrió a entrar el aire. A continuación intentó evacuar una esfera hueca de cobre con la ayuda de un dispositivo parecido. Aguantó más, pero a mitad del proceso la esfera implosionó, colapsándose con un estallido que le dejó un zumbido en los oídos.



La violencia de la implosión sorprendió a Gericke, que no podía dejar de darle vueltas. De algún modo, la mera presión del aire (o, para ser precisos, la diferencia en la presión del aire entre el interior y el exterior de la esfera) había acabado por aplastarla. ¿Era un gas realmente lo bastante fuerte como para doblegar el metal? No parecía probable. Al fin y al cabo, los gases son blandos y flojos. Pero Gericke no veía otra respuesta, y cuando su mente dio ese salto, resultó ser un punto de inflexión en nuestra relación con los gases. Quizá por primera vez en la historia, alguien se daba cuenta de lo fuertes y musculosos que son los gases. Conceptualmente, de ahí a las máquinas de vapor y la Revolución industrial solo quedaba un pequeño paso.

Pero antes de que pudiera comenzar la revolución, Gericke tenía que convencer a sus contemporáneos de lo potentes que eran los gases, y por suerte disponía de la habilidad científica para conseguirlo. De hecho, una demostración que diseñó durante la década siguiente despertó tan extravagantes rumores en Europa central que el emperador Fernando III llamó a Gericke a la corte para verlo por sí mismo.

En el viaje de 350 kilómetros hacia el sur, Gericke llevó dos hemisferios de cobre que, una vez unidos, formaban una esfera de unos 56 centímetros de diámetro. Esta vez, las paredes de los hemisferios eran lo bastante gruesas como para resistir la implosión, y cada una de las mitades llevaba soldados unos anillos en los que se podía sujetar una cuerda. Pero lo más importante es que Gericke había practicado un orificio en uno de los hemisferios en el que colocar una ingeniosa válvula de aire que permitía el flujo en un solo sentido.

Cuando Gericke llegó a la corte, le esperaban treinta caballos y una multitud considerable. Corrían tiempos en que a los convictos se los estiraba hasta desmembrarlos, y Gericke anunció a la multitud que tenía un plan igualmente macabro para su esfera de cobre, pero que creía que los mejores caballos del emperador no podrían separar las dos mitades. Hay que perdonar a la muchedumbre por reírse: si nadie los mantenía juntos, los dos hemisferios se separaban y caían por su propio peso. Gericke no hizo caso de los agoreros y fue a buscar a su carro el instrumento clave, una suerte de cilindro sobre un trípode. De él salía un tubo que ajustó a la válvula unidireccional de la esfera de cobre. Entonces varios herreros de la zona, los hombres más fuertes que

pudo encontrar, comenzaron a accionar las palancas y pistones de la máquina, que cada pocos segundos resoplaba. A aquel ingenio Gericke lo llamaba «bomba de aire».

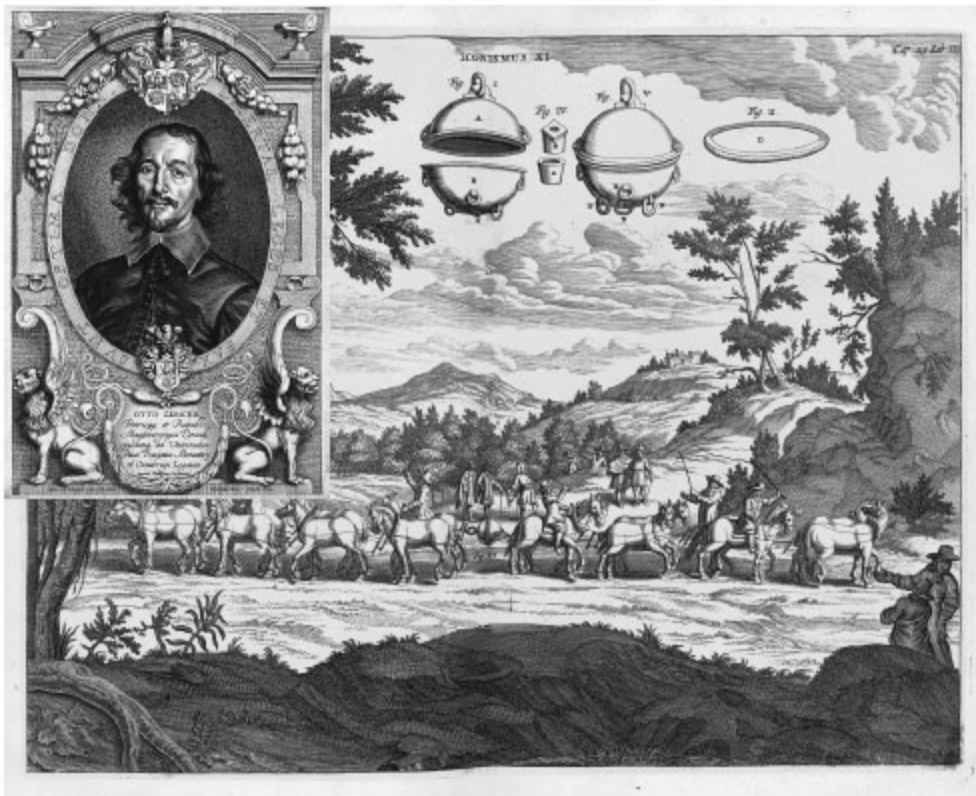
Funcionaba del siguiente modo. En el interior del cilindro de la bomba de aire había una cámara especial hermética con un pistón que se desplazaba arriba y abajo. Al principio del proceso, el pistón estaba abajo, de manera que la cámara no tenía aire en su interior. El primer paso consistía en que un herrero levantara el pistón. Como la cámara y la esfera de cobre estaban conectadas por medio de un tubo, el aire del interior de la esfera fluía hacia la cámara. A modo de ilustración, supongamos que, para empezar, en el interior de la esfera había 800 moléculas de aire. (Naturalmente, es una cifra extraordinariamente baja, pero bonita y redonda.) Al levantar el pistón, tal vez salía la mitad de ese aire, de modo que quedaban 400 moléculas en la esfera y 400 en la cámara.

Ahora viene el paso fundamental. Gericke cerraba la válvula unidireccional de la esfera, atrapando 400 moléculas a lado y lado, y abría otra válvula, esta vez en la cámara, y pedía a los herreros que bajaran el pistón. La cámara volvía a reducir su volumen y expelía las 400 moléculas. El resultado neto era que Gericke había bombeado la mitad del aire original de la esfera, expulsándolo al exterior.

Ahora Gericke se encontraba de nuevo en el punto de partida, con el pistón bajado, de manera que podía volver a abrir la válvula de la esfera y repetir todo el proceso. Esta vez, hacia la cámara fluían 200 moléculas (la mitad de las 400 que quedaban), y las otras 200 se quedaban dentro de la esfera. Cerrando la válvula unidireccional una segunda vez, podía atrapar las 200 moléculas de la cámara para luego expulsarlas. En la siguiente repetición, expulsaba 100 moléculas más, luego 50, y así sucesivamente. Cada vez resultaba más difícil levantar el pistón (de ahí que necesitase a los robustos herreros), y con cada ciclo la bomba eliminaba la mitad del aire que quedaba en la esfera.

A medida que iba desapareciendo el aire del interior, la esfera de cobre comenzaba a sentir una fuerte presión desde el exterior. La razón de ello es que cada segundo chocaba contra su superficie un número ingente de moléculas. Cada una de estas era, por supuesto, minúscula, pero en conjunto

ejercían una presión de miles de newtons (literalmente). En condiciones normales, el aire del interior de la esfera compensaría esta presión empujando hacia afuera, pero a medida que los herreros evacuaban el interior, se creaba un desequilibrio de presión y el aire del exterior apretaba un hemisferio contra el otro con una fuerza cada vez mayor: dado el tamaño de la esfera, en un vacío perfecto la fuerza neta habría sido de 25.000 newtons. Gericke no podía conocer estos detalles, y no está muy claro cuánto se acercó al vacío perfecto. Pero cuando vio cómo se aplastaba aquella primera esfera, supo que el aire era bastante fornido. Más incluso, se atrevía a apostar, que treinta caballos.



*El experimento de estirar y desmembrar realizado por Otto von Guericke (en el recuadro interior) el emperador lo enobleció. (Imagen por gentileza de Wellcome Trust.)*

Una vez que los herreros agotaron el aire (y a sí mismos), Gericke desconectó la esfera de cobre de la bomba y ató una cuerda a cada una de las anillas de cada hemisferio y a sendas reatas de caballos. Entre el público se hizo el silencio. Tal vez alguna doncella alzara un pañuelo de seda y lo dejase caer. Cuando el juego de la cuerda dio comienzo, las maromas se pusieron tensas y la esfera tembló. Los caballos resoplaron, clavaron los cascos en el

suelo y en el cuello se les hincharon las venas. Pero la esfera aguantó: los caballos no lograron separar los hemisferios. Entonces, Gericke cogió la esfera y con el dedo abrió una válvula secundaria. El aire entró silbando, y un segundo más tarde los hemisferios cayeron en sus manos; como la espada en la roca, solo el elegido podía realizar aquella hazaña. Tan impresionado quedó el emperador que no tardó en elevar al llano Otto Gericke a Otto von Guericke, de la realeza oficial alemana.

En años posteriores, Von Guericke y sus acólitos diseñaron otros experimentos teatrales con el vacío y la presión del aire. Demostraron que dentro de una jarra de la que se ha evacuado el aire, una campana no produce sonido cuando se tañe, probando así que el aire es necesario para transmitir el sonido. De igual modo, hallaron que la mantequilla expuesta a unos hierros candentes dentro de un vacío no se funde, demostrando que el vacío no puede transmitir el calor por convección. También repitieron el truco de los hemisferios en muchos otros lugares, difundiendo así el descubrimiento de Von Guericke de la fuerza del aire. Y es este descubrimiento el que más influencia tendría sobre el mundo en general. La presión del aire habitual en nuestro planeta, de unos 100 kilopascales, puede no parecer impresionante, pero equivale a casi diez toneladas de presión por metro cuadrado. No son solo los hemisferios de cobre los que la sienten, naturalmente. En un adulto normal hay en todo momento veinte toneladas de presión haciendo fuerza hacia dentro sobre la superficie del cuerpo. La razón de que no notemos esta presión aplastante es que hay otras veinte toneladas de presión empujando hacia afuera desde nuestro interior. Pero aunque sepamos que las fuerzas están en equilibrio, todo parece un poco precario. Quiero decir que, en teoría, un trozo de papel de aluminio perfectamente equilibrado entre dos mangueras de bombero abiertas sobreviviría intacto, pero ¿quién se arriesgaría? Nuestra piel y nuestros órganos se encuentran en esa misma situación respecto al aire, suspendidos de dentro afuera entre dos fuerzas torrenciales.

Por suerte, nuestros antepasados científicos no temblaron de miedo ante tamaña potencia. Asimilaron la lección de Von Guericke (que los gases son sorprendentemente fuertes) y siguieron adelante con un torrente de nuevas ideas. Algunos de los proyectos que abordaron eran prácticos, como las

máquinas de vapor. Otros frívolos, como los globos aerostáticos. Otros, como los explosivos, nos castigaron con su fuerza mortífera. Pero todos se basaban en la enorme potencia física de los gases.

La Revolución industrial comenzó con un juguete roto. A finales de la década de 1750, la Universidad de Glasgow contrató a un artesano temperamental llamado James Watt para que construyera y mantuviera los instrumentos que se utilizaban en las demostraciones docentes. Una de las tareas consistía en arreglar una pequeña máquina de vapor de Newcomen, una versión de juguete de la máquina que se utilizaba en las minas para bombear el agua. Medía unos sesenta centímetros de alto, estaba hecho de latón y nunca había funcionado bien. El profesor al cargo del aparato solo quería que Watt arreglase aquel estúpido trebejo, pero cuanto más estudiaba Watt aquella diminuta máquina de vapor, más formas veía de *mejorarla*. Aquello se convertiría en una obsesión que lo acompañaría durante toda su vida.

Los seres humanos ya llevaban mucho tiempo usando agua para mover máquinas,\* pero no encontraron un buen uso para el vapor en su industria hasta 1696, cuando un inglés llamado Thomas Savery construyó una máquina para los mineros de Cornualles. Aunque esta región tenía una gran riqueza de estaño y otros minerales, los pozos de las minas inevitablemente se llenaban de agua a los pocos metros de excavación. Achicar toda aquella agua requería atar docenas de caballos o bueyes a una gigantesca rueda para sacar barreño tras barreño de agua, un trabajo lento, tedioso y caro, a la vista de lo cual Savery decidió inventar una máquina que hiciera lo mismo. Esta consistía de dos partes, una bomba de vacío al estilo de la de Von Guericke para subir el agua, y una segunda bomba que utilizaba vapor comprimido para empujarla un poco más arriba. Para venderla a sus clientes, Savery la llamaba Miner's Friend (la «amiga de los mineros»), como si fuera un perro de compañía. Pero más que un perro era un dragón: medía varios metros de altura y en su vientre ardían las llamas que formaban el vapor. De hecho, en su solicitud de patente, Savery le dio a su máquina un nombre lleno de dramatismo, casi mítico: «un motor para subir agua con fuego».

Aunque mejor que los bueyes, la «amiga de los mineros» tenía sus defectos. El primero tenía que ver con la bomba de vacío de Savery, que no podía alzar el agua a más de diez metros. La razón de este límite es sutil y está

relacionada con un malentendido común sobre el funcionamiento de las bombas de vacío. La mayoría de la gente suponía entonces que las bombas de vacío hacían subir el agua aspirándola de algún modo hacia arriba, pero no es así. Técnicamente, el vacío no puede subir ni aspirar nada, lo cual tiene bastante sentido si se piensa en ello. No hay literalmente nada en el vacío, así que ¿cómo podría ejercer una fuerza o hacer un trabajo? Lo que realmente ocurre es lo siguiente: cuando se evacúa todo el aire del interior de una cámara de vacío, de repente no hay nada *empujando en contra* de cualquier fluido que intente penetrar desde el exterior. En consecuencia, esos fluidos pueden entrar en el vacío sin ningún impedimento. Así pues, en términos generales las bombas de vacío no aspiran fluidos hacia su interior, simplemente permiten que los fluidos del interior entren por su propia fuerza.

Entonces, ¿qué es lo que empuja cuando sube el agua? Empuja la presión del aire. Supongamos la siguiente situación: un pozo de mina con agua en el fondo, una bomba de vacío en la superficie, a la salida del pozo, y una tubería que conecta la bomba con el agua del pozo. En el momento en que se pone en marcha la bomba, el agua empieza a subir por el interior de la tubería. Pero no lo hace porque de algún modo la bomba tire del agua hacia arriba, sino porque hay una presión del aire empujando hacia abajo sobre la lámina de agua. Eso debe sonar al mundo al revés. ¿La presión del aire hacia *abajo* es lo que hace que el agua *suba*? Pues sí. Como analogía, imaginemos un trozo de masa de pan sobre una mesa. Ponemos las manos sobre la masa y empujamos hacia abajo. ¿Qué ocurre? Parte de la masa se comprime, pero otra parte sube entre los dedos. Dicho de otro modo, apretar la masa hacia abajo en algunos lugares hace que ascienda por otros lugares. Lo mismo pasa con el agua y la presión del aire. El aire empuja hacia abajo sobre la mayor parte de la superficie, pero ese empuje hacia abajo fuerza el agua a subir hacia una región de baja presión, como el vacío del interior del tubo.

De entrada, todas estas distinciones sobre vacío frente a presión del aire y sobre empujar sobre algo frente a tirar de algo podrían parecer pedantes. Y sin duda lo son cuando uno se refiere a una paja de bebida de un palmo de longitud. (Por favor, que nadie se ponga a aclararle a nadie que es la presión del aire, no sus pulmones, lo que mueve el líquido cada vez que toman un sorbo. Aunque sea cierto.) En cambio, cuando se trata de alturas de varios

metros, esas distinciones resultan esenciales. La razón de ello es que a esas alturas el empuje hacia abajo de la gravedad comienza a ser un factor a tener en cuenta.

Para comprender el tira y afloja entre la presión del aire y la gravedad, imaginemos un minero que intenta subir un poco de agua usando una de las bombas de Savery. Sin entrar en el detalle de los cálculos, si una bomba aspira agua hasta una altura de 30 centímetros por el interior del tubo, la fuerza de la gravedad equivaldría a unos 2,76 kilopascales (kPa). La presión del aire que sostiene la columna de agua es de 100 kPa, y como 100 es mayor que 2,76, gana la presión del aire. Si hace subir el agua hasta el doble de altura, 60 cm, la presión gravitatoria se duplica hasta 5,5 kPa, que todavía es menos que 100 kPa. Sin embargo, a medida que el agua va subiendo por el tubo, la presión gravitatoria que tira hacia abajo superará esos 100 kPa, y la columna dejará de subir. Si se hacen los cálculos se verá que eso ocurre a unos 10 metros.

Este es el límite con el que topó Thomas Savery. De hecho, en ningún lugar de la Tierra\* puede una bomba de vacío, por perfecta que sea, hacer subir el agua a más de 10 metros; nuestra atmósfera no tiene músculo para más. Las bombas de vacío de Savery (que distaban mucho de ser perfectas) lo hacían mucho peor, y llegaban a su tope por debajo de 10 metros.

En este momento uno se estará preguntando por la otra mitad de la máquina de Savery, que usaba la fuerza del vapor para empujar el agua por el tubo. La buena noticia es que este método no tiene ningún límite intrínseco. Mientras uno siga aumentando la presión del vapor, teóricamente se podría subir el agua hasta la Luna. El problema era que las válvulas y empalmes de la década de 1690 no podían resistir mucha presión, así que no podían subir el agua a más de 10 metros adicionales. En total, pues, la máquina de Savery no podía hacer subir el agua a más de unos 20 metros. Mejor que un caballo, pero no excelente.

Un herrero llamado Thomas Newcomen por fin inventó un motor mejor en la década de 1710. Una vez más, estaba formado por dos partes. La primera parte consistía en un pistón en el interior de una cámara que se desplazaba arriba y abajo en función de las fluctuaciones en la presión del vapor. Para entender cómo funcionaba, imaginemos un pistón en la posición de inicio, en

lo más alto. Debajo tiene una suave nube de vapor que ayuda a sostener su peso, y mientras el vapor esté ahí, el pistón no se moverá. Pero justo cuando el pistón comienza a relajarse, más abajo se abre una válvula que lo trastorna todo. Esta válvula inyecta agua fría dentro del cilindro que contiene el vapor. El frío deja tieso al vapor, igual que si alguien nos tirara hielo en la camiseta, y el gas tiembla de frío y se condensa en agua, que se drena a través de un tubo conectado a la base del cilindro. (Al parecer, desde fuera, este paso suena un poco como cuando alguien se sorbe los mocos.) Lo importante es que cuando el vapor se condensa, ya no hay nada que sostenga el pistón, y este comienza a caer, empujado hacia abajo por la presión externa del aire. Sin embargo, antes de que choque contra la base del cilindro, se abre otra válvula que salva la situación. A través de ella vuelve a entrar el vapor en la cámara, levantando de nuevo el pistón. Resuelta la crisis, el pistón puede relajarse otra vez sobre la nube de vapor, pero solo hasta que la maldita válvula se vuelve a abrir, inyecta un nuevo chorro de agua fría y recomienza el ciclo.

Técnicamente, parte de la máquina que contiene el pistón no bombea agua, solo proporciona la potencia para hacerlo. El bombeo tiene lugar en la otra parte. Sobre el pistón hay un enorme travesaño que sube y baja como en las actuales bombas de extracción de petróleo. (Los mineros importaban estos gigantes de 12 metros de los bosques vírgenes de la Columbia Británica o del Báltico.) Uno de los extremos de la viga estaba conectado al pistón, de manera que cada vez que el pistón completaba un ciclo, el travesaño subía y bajaba. A su vez, esta subida y bajada impulsaba la bomba, que estaba conectada al otro extremo del travesaño, aunque la verdad es que las «bombas» que se utilizaban a duras penas merecían ese nombre. Muchas no eran mucho más que una serie de barreños que con cada ciclo del pistón subían un poco. Sin embargo, a diferencia de las sofisticadas bombas de vacío, los barreños no tenían un límite intrínseco debido a la presión del aire. Y por burdo que parezca el sistema de barreños, la parte impulsora de la máquina de Newcomen (los pistones movidos por vapor) concentraba tan bien la potencia que los mineros podían subir el agua hasta más de 45 metros, algo milagroso a principios del siglo XVIII.



Pese a todos sus beneficios, pocos mineros contaban la máquina de Newcomen entre sus mejores amigos. Para empezar, instalarlas costaba la lindeza de 1.000 libras, pero lo peor era que consumían ingentes cantidades de carbón cada día. Las minas grandes se podían permitir usarlas, pero solo el coste del combustible las dejaba en la cuerda floja, a punto de la bancarrota. Las máquinas eran menos un amigo que un extorsionador, pero nadie tenía nada mejor.

Y así volvemos a James Watt. Mientras arreglaba el juguete roto para su universidad, Watt no pudo dejar de ver cierto número de aspectos poco eficientes en el diseño de Newcomen, en particular el consumo excesivo de combustible. En la actualidad nos referiríamos a esa ineficiencia en términos de calor perdido y energía derrochada, pero los científicos de entonces no tenían una idea clara de esos conceptos. En su lugar, Watt hablaba de «derrochar vapor», una expresión que hoy nos parece pintoresca, pero había en ella mucha verdad. En aquella época, el vapor era realmente un bien escaso.

Al carecer de formación científica, Watt se abalanzó sobre el problema sin orden ni concierto. Por la mañana, igual recogía vapor de teteras que fundía cosas, y por la noche se sumergía en libros sobre la teoría del flogisto o realizaba experimentos de química. Por fin consiguió hacer algunos progresos tras charlar con Joseph Black, el animado profesor de química escocés que había descubierto el dióxido de carbono. Black también estudiaba las transiciones de fase, el paso de una sustancia de, por ejemplo, sólido a líquido o de líquido a gas. Fueron esas las investigaciones que por fin le dieron a Watt las ideas que necesitaba.

Para entenderlo, imaginemos un cazo con agua sobre el fuego. Comenzamos por calentarlo de 0 a 1 °C, luego de 2 a 3 °C, y así, paso a paso, hasta alcanzar los 100 °C. Resulta que cada salto de un grado requiere la misma cantidad de energía, una caloría por gramo de agua. Pero si intentamos calentar el agua más allá de los 100 °C, ocurre algo extraño. El agua hierve a 100 °C, de manera que a 101 °C, el agua ya es vapor. Y uno puede pensar, basándose en la entrada constante de energía requerida hasta entonces, que para pasar de 100 a 101 °C hará falta la misma energía que para pasar de 99 a 100 °C. En absoluto. Entre el agua líquida y el vapor de agua se abre una gran

brecha. En realidad hace falta mucha menos energía (unas cinco veces menos) para calentar el agua de 0 a 100 °C que para pasar esa agua a 100 °C al estado de vapor. Es como una maratón que acaba en una montaña: los primeros 41 kilómetros no cuestan tanto como el último, y es que el vapor absorbe mucha energía.

Black denominó a la energía extra del vapor «calor latente», y Watt se aferró a la idea para explicar la ineficiencia de las máquinas de Newcomen. Recordemos que el ciclo de Newcomen comienza con el pistón arriba, luego el vapor que lo aguanta se condensa gracias a un chorro de agua fría que se inyecta en el cilindro. Obviamente, para que esto funcionase el agua fría tenía que enfriar el vapor por debajo de 100 °C. Lo que ya es menos obvio es que el agua también tenía que enfriar el pistón y el cilindro por debajo de 100 °C, pues de otro modo las gotas de vapor que se condensasen sobre esas superficies calientes de metal hervirían al instante y volverían a pasar a vapor. Eso implicaba que había que inyectar en el cilindro mucha más agua de la que uno hubiera imaginado, lo que suponía un derroche de tiempo y energía. Pero lo que realmente funcionaba mal era el proceso inverso. Una vez que caía el pistón, la máquina tenía que elevarlo de nuevo con más vapor, y por desgracia, después de enfriarla con un chorro de agua fría, ahora la superficie fría de metal condensaba el vapor que entraba en contacto con ella. Dicho de otro modo, la superficie fría de metal chupaba la energía del vapor como un vampiro, y todo para producir gotas de agua que no hacían ningún trabajo útil. Para solucionar este problema, las máquinas de Newcomen tenían que inyectar todavía más vapor, lo que implicaba hacer hervir más agua, quemar más carbón y, en último término, derrochar más dinero. Y no estamos hablando de unos centavos sobre un dólar. Watt calculó que las máquinas de Newcomen despilfarraban el 80 por ciento del vapor. Cuatro de cada cinco dólares echados a perder. Por eso Watt se lamentaba de todo aquel «vapor derrochado» en el diseño: el vapor almacena tanta energía latente que todo lo que dé al traste con la eficiencia del vapor da al traste con todo el proceso.

Para arreglar este problema, Watt tenía que encontrar la manera de evitar tener que calentar y enfriar repetidamente el cilindro. Pero antes de poder hacerlo, la vida se le puso de por medio. Con una esposa y unos niños a los que alimentar, tuvo que dejar de bregar con las máquinas de vapor y aceptar un

trabajo haciendo prospecciones de canales. Aquellos años no fueron una completa pérdida de tiempo. Como los pozos de las minas, los agujeros de los canales a menudo se llenaban de agua durante la fase de construcción y había que drenarlos, de modo que Watt pasó varios años peleándose con las máquinas de Newcomen, y todo aquel despilfarro de vapor, día tras día, lo sacaba de sus casillas.

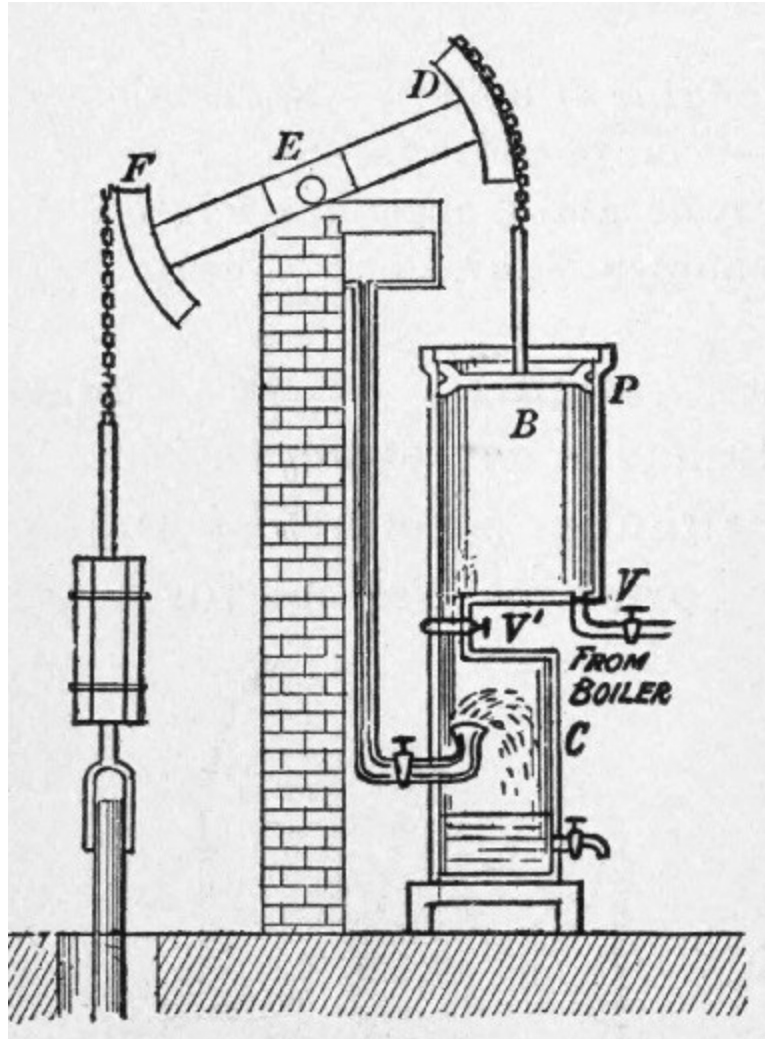
Durante aquellos años, Watt también comenzó a mantener correspondencia con un grupo de caballeros científicos que vivían a unos 400 kilómetros al sur de Glasgow, en Birmingham. En cierto modo, Birmingham era el Silicon Valley de entonces, un paraíso tecnológico, y hasta allí llegaban turistas de toda Europa para ver las ruedas de agua y los telares mecánicos. Dicho esto, no era ninguna Utopía. Los trabajadores deambulaban apestando a petróleo, con los ojos inyectados en sangre y una tos pertinaz. Algunos tenían el pelo teñido de verde por las fundiciones de cobre.

Pese a ser de clase trabajadora, Watt fue bien acogido por la élite de Birmingham, y en particular por su famoso club intelectual, la Sociedad Lunar. ( Joseph Priestley, William Herschel y Erasmus Darwin también pertenecían a ella.) Los miembros de la sociedad se reunían una noche al mes, siempre el lunes más cercano a la luna llena, para debatir acaloradamente de literatura y filosofía. Lo de reunirse de acuerdo con las fases de la luna hoy nos parecería pintoresco, cuando no místico, pero tenía una explicación prosaica: los miembros necesitaban la luz de la luna para encontrar el camino a casa al acabar la reunión.

Watt se relacionó especialmente con un Lunático, el industrial Matthew Boulton, que se ganaba muy bien la vida con una fábrica de hebillas para zapatos, cubertería, termómetros y cuentas de vidrio baratas que usaban los exploradores para estafar a los indios y quedarse con sus tierras. Cada invierno, el río que servía de fuente de energía para las fábricas de Boulton se congelaba, y este se veía obligado a cerrar las puertas o alquilar un buen número de caballos para mover las ruedas del molino. Las sequías del verano le planteaban el mismo dilema, de modo que Boulton comenzó a rondar a Watt para que se trasladara a Birmingham y desarrollara motores de vapor para mover sus máquinas.

Watt le anduvo dando vueltas a la oferta hasta que una tragedia familiar, la muerte de su esposa en 1773, lo persuadió para dejar sus raíces y unirse a la empresa de Boulton. Watt solo conocía una manera de aplacar la pena, trabajar a más no poder, y del mismo modo que años más tarde, cuando murió su hija Jessie, se volcaría en el estudio de las medicinas gaseosas, en Birmingham se volcó en las investigaciones sobre el vapor. Fue durante este periodo de frenética actividad cuando Watt construyó su famosa máquina de vapor.

La idea clave ya se le había ocurrido varios años antes, en 1765. En una bomba de Newcomen, como se recordará, el pistón subía y bajaba en función de las fluctuaciones en la presión del vapor, y en el diseño de esta máquina ambos pasos se producían en el mismo espacio, el interior del cilindro. Pero tal vez no tenía por qué ser así. Watt comprendió un día que quizá podía extraer el vapor y condensarlo en otro lugar, es decir, enviarlo mediante una tubería hasta una cámara de refrigeración. Extraer el vapor de este modo todavía permitiría que el pistón cayera en el momento preciso del ciclo, pero mantendría el cilindro caliente en todo momento y evitaría que se condensase el vapor.



*La famosa máquina de vapor de James Watt (en el recuadro interior).  
(Imagen por gentileza de Wellcome Trust.)*

Esta visión de un «condensador separado» se le presentó a Watt un domingo, el día sagrado de descanso, y le costó lo indecible aguantarse durante todo un día sin poder correr a su taller. Poco podía imaginar que

tardaría varios años en conseguir que el condensador funcionara bien, y varios más para que él y Boulton produjeran por fin toda una máquina de vapor. Estos retrasos fueron culpa sobre todo de Watt, pues su mente obsesiva no podía evitar tocar también otras partes de la máquina. Le dio la vuelta al pistón e insertó una segunda cámara de vapor debajo de la primera para empujar el pistón desde ambos lados. Añadió una bomba de aire para extraer el vapor más deprisa hacia el condensador. Puso en el pistón un regulador que de manera automática ajustaba su velocidad, impidiendo que se moviera demasiado deprisa. Piezas y engranajes, tubos y más tubos, no hubo complicación que Watt no introdujera si le permitía aumentar un poco la eficiencia.

Por fin, a mediados de la década de 1770, consiguió construir una máquina de vapor funcional, y, si se me permite decirlo, el resultado final me parece bastante feo. Siento debilidad por la simplicidad mecánica, una cualidad que tenía la bomba de aire de Von Guericke y, si se me apura, la máquina de Newcomen. En comparación, la máquina de Watt carecía de toda elegancia: parecía un montón de chatarra ensamblada de cualquier manera. En cuanto a los resultados, sin embargo, no hay pega que valga. Por mucho desorden que introdujera el nuevo condensador (más tuberías, más válvulas, más bombas), en el vapor hay tanta energía latente que merecía la pena. Dejemos clara una cosa: las máquinas de Watt no podían elevar el agua a más altura que las máquinas de Newcomen, pero lo hacían con una cuarta parte del carbón, ahorrando a los propietarios de las minas una gran cantidad de dinero por la reducción de los costos de operación. (¿Quién no se alegraría de que, de repente, el coche hiciera cuatro veces más kilómetros con el mismo depósito de gasolina?) Watt no inventó la máquina de vapor, pero si no la hubiera hecho tan económica, la Revolución industrial probablemente hubiera renqueado.

Watt y Boulton vendieron su primera máquina de vapor en 1775, y aunque tardaban varios meses en montar cada máquina, su diseño llegó a dominar el mercado de la minería. Más tarde ampliaron su negocio a otros mercados, especialmente las fábricas. Esta transición no fue tan sencilla como uno pudiera imaginar, pues las fábricas a menudo necesitaban (por razones históricas) motores que proporcionasen un movimiento de rotación, no el

movimiento basculante, arriba y abajo, que producían los pistones. Sin embargo, tras varios años de trabajo, a Watt se le ocurrieron varios diseños ingeniosos que satisfacían sus demandas.

La expansión a nuevos mercados llevó a Watt a pensar en las máquinas de vapor todavía más a lo grande. Para la mayoría de la gente, las máquinas no eran más que herramientas construidas para realizar una tarea específica, como bombear agua, mover un torno, lo que sea. Watt, sin embargo, concebía los motores más como fuentes *universales* de energía, como máquinas capaces de impulsar cualquier proceso mecánico. Con una analogía (anacrónica), la mayoría de la gente veía las máquinas de vapor un poco como las calculadoras: eficientes para una tarea pero por lo demás de poca utilidad. Watt soñaba con construir el equivalente en máquinas de vapor de las computadoras, máquinas lo bastante versátiles como para funcionar en cualquier industria.

Con estas nuevas ideas, Watt se dio cuenta de que también necesitaba un nuevo vocabulario. Los amos de las fábricas sabían, naturalmente, que Watt le podía ahorrar dinero, pero eran gente conservadora y querían conocer los detalles. Ahora un minero podía bombear agua hasta más de cuarenta metros, pero ¿cómo se traducía eso a un molino maderero o una fábrica de hebillas? ¿Cuántos metros más de tela o sacos de harina les reportaría su inversión?

En lugar de hacer los cálculos para cada industria particular, Watt inventó un estándar universal de comparación, los caballos de potencia, que definió, literalmente, observando a varios caballos empujando una rueda de molino y calculando hasta qué distancia habían desplazado un peso en un lapso de tiempo concreto (746 newton metros por segundo). Esta unidad resultó ser un acierto por varias razones. Al nombrar a los caballos, Watt astutamente recordaba a los propietarios de las fábricas todo lo que podían dejar de lado: el pienso, las patas rotas, las facturas del veterinario. Los clientes también lo entendían de manera intuitiva. Si antes necesitaban diez caballos para mover su molino, ahora necesitaban una máquina de diez caballos de potencia.

Científicamente, la idea también resultó ser clarividente. Durante el siglo siguiente la química y la física estarían dominadas por la termodinámica, el estudio del calor y la energía. La energía es un tema amplísimo en la ciencia que aparece en todo tipo de contextos de lo más dispar, de modo que los

científicos necesitaban una unidad estándar de comparación para entender lo deprisa que distintos procesos absorbían o liberaban energía. El caballo de potencia servía a la perfección. Poco podían imaginar aquellos científicos que la idea tenía su origen en un plan de ventas de James Watt.

(A medida que la termodinámica se fue ramificando y expandiendo hacia nuevos fenómenos, como la luz y los campos magnéticos, lo absurdo del nombre, «caballos de potencia», resultó evidente, como si uno todavía pudiera enganchar a la vieja Bessie al aparato. En 1882 los físicos votaron por fin para establecer una nueva unidad universal de potencia que se aplicase de igual modo a las bombillas y neveras que a los motores para subir el agua con el fuego. Y justamente la llamaron vatio [*watt* en inglés].)

Desdichadamente, durante la vida de Watt el vapor no llegó a convertirse en la fuente universal de energía que él había imaginado, lo que en parte se debe a que el inventor perdió cada vez más energía en batallas judiciales por sus patentes. (A quienes las infringían, los llamaba «diablillos de Satán», y sus cruzadas legales lograron llevar a unos cuantos a la prisión.) La verdad, no obstante, es que el propio Watt merece la mayor parte de la culpa por el lento crecimiento del vapor. Varios de sus contemporáneos concibieron varias maneras de reducir el enorme tamaño de las máquinas de Watt, lo cual habría permitido, por ejemplo, instalarlas en barcos con ruedas de paletas. Pero en lugar de aplaudir esas ideas, Watt les interpuso tantas trabas legales como pudo. Un inteligente ingeniero de la empresa de Boulton construyó en 1784 un modelo de tren a vapor, pero Watt y Boulton le dijeron que lo olvidara. El miembro de la Sociedad Lunar Erasmus Darwin, un destacado médico que cada año recorría miles de kilómetros por las accidentadas carreteras inglesas (bastaban sus nalgas escocidas para demostrarlo), esbozó un diseño de automóvil movido por vapor. Watt acabó patentando la idea, pero solo para impedir que otros lo construyeran.

Pero ni siquiera Watt plantándose en medio de la historia y gritando «¡Alto!» podría haber frenado el desarrollo de aquellas tecnologías. El vapor era sencillamente demasiado dinámico, demasiado vigoroso para que los ingenieros lo ignorasen. Y para dar a Watt el crédito que le toca, los historiadores nos recuerdan que su diseño básico sobrevivió sin cambios



durante tres cuartos de siglo después de su muerte, algo increíble si pensamos en lo mucho que han cambiado los ordenadores y otras tecnologías solamente en los últimos veinticinco años.

Las máquinas de vapor de Watt resultaron ser tan potentes que modificaron profundamente la sociedad inglesa. Las fábricas ya no estaban atadas a la fuerza motriz que proporcionaban los ríos y podían moverse a las ciudades, arrastrando con ellas a miles de trabajadores. (A mediados de la década de 1880, Inglaterra se convirtió en el primer país de la historia con más habitantes en zonas urbanas que en zonas rurales.) Mujeres y niños entraron a formar parte de la fuerza laboral, y surgió un nuevo estrato social, la clase media. En lugar de la sangrienta revolución de Francia, Gran Bretaña reconstruyó su sociedad por medio de una revolución industrial, y James Watt tuvo mucho que ver con ello.

Aunque el vapor llegó a convertirse en una versátil fuente de energía en el siglo XIX, otros gases le ganaban la partida en ciertas aplicaciones. Es el caso de los explosivos.

Durante siglos, la humanidad solo conoció un explosivo, la pólvora, una mezcla de carbono, azufre y nitrato. Cuando se quema, estos tres ingredientes reaccionan del siguiente modo:  $3C_{(sólido)} + S_{(sólido)} + 2KNO_{3(sólido)} \rightarrow N_{2(gas)} + 3CO_{2(gas)} + K_2S_{(sólido)}$ . No hace falta angustiarse con los detalles, pero sí conviene ver que se parte de seis moléculas de sólidos a la izquierda y se acaba con cinco moléculas a la derecha, cuatro de las cuales son gases. Son esos gases los que impulsan las balas y la metralla a gran velocidad.

Aun así, obtener cuatro moléculas de gas a partir de seis moléculas de reactivos tampoco es tan impresionante, y ya en 1846 un químico italiano llamado Ascanio Sobrero descubrió una alternativa a la pólvora. Como la mayoría de los buenos químicos de la época, Sobrero tenía algo de temerario y le encantaba trabajar con sustancias peligrosas. En un experimento, empezó a introducir sustancias como la goma o la lactosa en ácidos, solo para ver lo que pasaba. Una de las sustancias que probó era la glicerina, un tipo de azúcar, que dejó caer gota a gota en un baño de los ácidos sulfúrico y nítrico. Apareció entonces un líquido amarillo que Sobrero comparó con el aceite de

oliva. Como la reacción neta comprendía la fusión de grupos nitro ( $-\text{NO}_2$ ) a la glicerina, a la sustancia resultante ( $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_9\text{N}_3$ ) le dio el nombre de nitroglicerina.

Por probar, Sobrero puso una sola gota de nitroglicerina en un tubo de ensayo sellado y lo sostuvo sobre una llama. Momentos más tarde estaba sacándose esquirolas de cristal de la cara y las manos. Podemos entender por qué explotó el tubo si examinamos la reacción química:  $4\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_9\text{N}_3$  (líquido)  $\rightarrow$   $6\text{N}_{2(\text{gas})} + 10\text{H}_2\text{O}_{(\text{gas})} + 12\text{CO}_{(\text{gas})} + 7\text{O}_{2(\text{gas})}$ . Lo fundamental es que cuatro moléculas de nitroglicerina producen la soberbia cantidad de treinta y cinco moléculas de gas, un explosivo rendimiento sobre el capital invertido. Y lo que es mejor, la nitroglicerina libera todos esos gases casi al instante,\* en menos de una millonésima de segundo. (Para poner esa magnitud en perspectiva, la pólvora explota en varias milésimas de segundo, lo que significa que si estiramos la explosión de pólvora hasta una hora entera, la explosión de nitroglicerina acaba en solo cuatro segundos.) Como hoy bien saben los científicos, esa velocidad es lo que hace tan mortíferos a los explosivos. Gramo por gramo, la gasolina, el carbón, incluso la mantequilla (!) almacenan más energía en sus enlaces químicos que la mayoría de los explosivos, pero estos la liberan muchísimo más deprisa. Los explosivos también tienen los medios (los gases) para lanzar esa energía hacia fuera, y son los gases los causantes de la mayor parte de los daños.

Sobrero intentó vender su bombazo al gobierno italiano, pero este puso reparos: en las pruebas que realizaron, la nitroglicerina resultó un poquitín *demasiado buena* a la hora de destruir cosas. Aun así, la nitroglicerina podría haber encontrado alguna aplicación de no haber sido por otro problema: su inestabilidad. A veces el calor la hacía explotar, como el propio Sobrero había comprobado. Otras veces, sin embargo, simplemente entraba en combustión sin explotar. Y aún otras veces estallaba sin necesidad de calor, bastaba una sacudida brusca. También podía experimentar combustión espontánea, como el Mr. Krook de Dickens. Esta impredecibilidad hacía que la nitroglicerina resultase demasiado peligrosa para un uso habitual, pero todavía más atractiva para los químicos temerarios, que no cesaron de

observarla, darle vueltas, buscar la manera de domarla. Y aunque hicieron falta veinte años, un solitario e infeliz sueco llamado Alfred Nobel al final lo consiguió.

El padre de Alfred, Immanuel, fabricaba balas de cañón, morteros, torpedos y otros instrumentos de guerra, así que su familia sufría lo indecible en tiempos de paz. Por culpa de un incendio en una fábrica, se quedaron en la bancarrota el año que nació Alfred, en 1833. Immanuel logró convencer entonces a los militares rusos para que le permitiesen fabricar minas navales para ellos, y en 1842 se trasladó con su mujer y sus hijos de Estocolmo a San Petersburgo. Seguramente fue un viaje duro para Alfred, un niño dispéptico y aquejado de una tos seca y un corazón débil. Poco apto para una vida vigorosa, se centró en los estudios y sobresalió en varias asignaturas, llegando a hablar con fluidez en alemán, inglés, francés, italiano y ruso. Dada su facilidad para los idiomas, deseaba dedicarse a escribir, pero su padre lo empujó hacia la ciencia, y obediente pero resignado, aceptó estudiar química. Pero su actitud cambió completamente una tarde cuando su profesor en San Petersburgo preparó una demostración. Untó sobre un yunque una gota de algo que parecía aceite de oliva y les pidió a todos que se apartasen. No parecía una situación de peligro, y posiblemente a algunos de los chicos se les escapara una risita. Entonces el profesor golpeó el yunque con un martillo.

El ruido y el estallido lo deslumbraron, si no en sentido literal, sí figurativo. ¡Tanto poder en una sola gota! La sustancia lo dejó fascinado, y cuando su padre volvió a arruinarse después de la guerra de Crimea, Alfred convenció a buena parte de su familia para que lo dejaran todo y se centraran con él en la nitroglicerina.

Por demencial que parezca, Nobel decidió que la manera de hacer la nitroglicerina más segura era combinándola con pólvora. Recordemos que la nitroglicerina era temida porque podía explotar en cualquier momento. Nobel razonó que solo necesitaba un desencadenante más fiable, y no lo había más fiable que la vieja pólvora. Así pues, diseñó un prototipo de bomba con tres componentes: un pequeño vial de vidrio con nitroglicerina, un contenedor sellado con pólvora en el que guardar el vial de nitro, y una mecha. La idea era que la mecha encendiera primero la pólvora, que liberaría gases, y luego serían estos gases calientes los que harían detonar la nitroglicerina. Era el

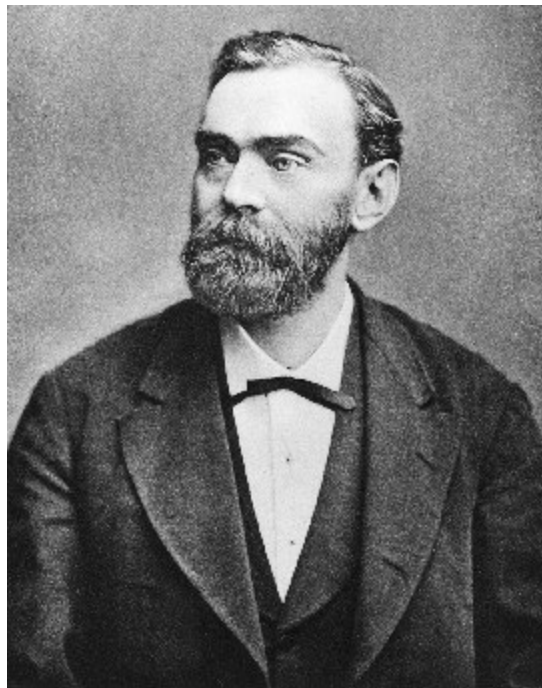
primer explosivo de dos etapas de la historia. Nobel invitó a sus hermanos a presenciar la prueba de aquella bomba en un canal de desagüe cercano a la fábrica de San Petersburgo. Prendió la mecha, tiró la bomba al agua y salió corriendo. ¡*Boom!* Sobre ellos llovieron las aguas negras, salpicando sus ropas. Nobel quedó entusiasmado.

Al año, el equipo Nobel había regresado a Estocolmo, y cuando Alfred por fin pudo dedicarse de nuevo a sus investigaciones sobre la nitroglicerina, tenía una nueva idea para una explosión más fuerte: invertiría su diseño original, poniendo un vial de pólvora dentro de un sólido contenedor de nitroglicerina. Esta vez invitó a su padre y sus hermanos Robert y Oscar-Emil a presenciar la prueba y, envalentonado, decidió detonar la bomba no en el agua, sino en el aire.

Llegada la tarde del gran día, Nobel nuevamente prendió la mecha y salió corriendo. Tres, dos, uno y... nada. La bomba apenas chisporroteó. La pólvora hizo *puf* y desapareció en una nube de humo. La nitroglicerina quedó en un charco sobre el suelo, inerte. Todos se quedaron mirándola unos segundos, anonadados. Entonces Robert e Immanuel estallaron en carcajadas, se partieron de la risa. «Eso sí que es una explosión, ¿eh, Alfred? Ja, ja, ja.» Nobel, entre tanto, echaba humo. Enojado, se encerró en su laboratorio decidido a averiguar qué había salido mal. ¿Por qué la mezcla de pólvora y nitroglicerina explotaba en el agua pero no en el aire? No podía ser un simple capricho, tenía que haber una explicación científica.

Al final se dio cuenta de que el problema radicaba en la presión. Al hacer explotar la primera bomba, sin percatarse había confinado los gases calientes de la pólvora en un pequeño espacio, pues el agua impedía que escapasen. En consecuencia, los gases tenían tiempo de golpear la nitroglicerina y detonarla. La presión del aire, en cambio, no proporcionaba la misma camisa de fuerza. En este caso, los gases de la pólvora salían disparados, dejando tranquila la nitroglicerina. Nobel comprendió que tenía que buscar el modo de confinar la pólvora. Tras un año de pruebas, se le ocurrió usar lo que se conoce como cápsula fulminante, una suerte de tapón de madera hueco que frenaba el escape de los humos de la pólvora justo el tiempo necesario para detonar la nitroglicerina. Aquella era la idea clave que andaba buscando.

Nobel comenzó a vender cápsulas fulminantes (detonadores) y Aceite Fulminante (su nombre comercial para la nitroglicerina) en 1864. Acababa de conseguir su primer gran pedido aquel septiembre para la construcción del canal de Suez cuando en un almacén cercano a su laboratorio explotaron más de cien kilogramos de nitroglicerina. La explosión destruyó varios edificios y mató a cinco personas, entre ellas su hermano de veinte años, Oscar-Emil, el que no se había reído de él. Nobel estaba entonces a varios kilómetros de distancia, y no se pudo determinar qué había detonado la nitroglicerina, pero cuando la policía descubrió que andaba fabricando el explosivo ilegalmente dentro de los límites urbanos, lo amenazaron con acusarlo de homicidio.



*Alfred Nobel, fabricante de dinamita y benefactor de los premios Nobel.*

Intentó convencer a la policía de que la nitroglicerina era segura si se manipulaba adecuadamente, pero las ruinas humeantes de su laboratorio decían lo contrario. Una cadena de accidentes similares, en su país y en otros, endurecieron aún más la opinión pública en su contra. Honestamente, algunas de las víctimas eran firmes candidatos a los premios Darwin: palurdos que se pulían las botas con nitroglicerina o la usaban para lubricar las ruedas de los carros. El minero galés que jugaba a fútbol con una lata de nitroglicerina casi lo merece.<sup>1</sup> Otros accidentes no podían desestimarse tan fácilmente. En 1866 llegó a San Francisco un contenedor del Aceite Fulminante de Nobel con una

fuga, y algunos empleados del almacén intentaron abrir la tapa con una palanca. Solo consiguieron salir disparados del edificio. Un brazo humano acabó golpeando una ventana de un tercer piso de la misma calle, y varios edificios más allá, los socorristas encontraron un cerebro humano intacto sobre el suelo.

A medida que se engrosaba la lista de accidentes (en Nueva York, en Panamá, en Sidney, en Hamburgo), Nobel se iba convirtiendo en un auténtico enemigo público. Nadie le vendía espacio para sus laboratorios, y tuvo que convertir una barcaza en un laboratorio químico flotante y trabajar sobre el agua durante años. Pero los estallidos y los humos que llegaban desde el puerto siempre lo delataban, y tenía que llevar ancla y buscar un nuevo puerto, huyendo como un fugitivo. En un par de ocasiones una turba atacó el «barco de la muerte de Nobel».

En 1867 Nobel dio por fin con una solución al problema, una forma de apaciguar la nitroglicerina sin emascararla. Químicamente, puede concebirse la nitroglicerina como una serie de gases débilmente enlazados en una forma líquida. Pero el líquido carece de la fuerza para confinar esas salvajes moléculas, así que Nobel decidió reforzar el líquido mezclándolo con un sólido, *kieselguhr*, una blanda arcilla blanca, una tierra de diatomeas formada por los restos de estas algas marinas. Varias leyendas, que Nobel siempre desmintió, dicen que descubrió la mezcla de forma accidental un día que por torpeza vertió un poco de nitroglicerina en un montón de diatomita. Sea como fuere, a Nobel le gustó la manera en que podía esculpir el fango resultante en forma de barras. La arcilla debilitaba la nitroglicerina, pero también impedía que un golpe o sacudida la hicieran estallar accidentalmente. E incluso en este estado más débil, era cinco veces más potente que la pólvora. Llamó a aquella sustancia Dynamit, por la palabra griega que significa fuerza.

La dinamita fue un gran éxito, pero fue asimismo el bien más controvertido del mundo, el napalm o Agente Naranja de su época. De un lado, las empresas de minería y construcción estaban encantadas con ella: era perfecta para abrir pasos en las montañas o hacer volar arrecifes pertinaces en los puertos. Y a Londres le permitió construir el primer metro del mundo. Por otro lado, todavía se producían muchos accidentes, y la potencia de la dinamita hacía que en lugar de uno o dos trabajadores llegaran a morir hasta

una docena en una sola explosión. Un proyecto especialmente dantesco, un túnel de Suiza, costó quince vidas por kilómetro. Y lo que es peor, la dinamita parecía destinada a hacer las guerras aún más mortíferas en el futuro, no como sustituto de la pólvora, pues era demasiado potente para las armas de fuego y hacía trizas los cañones, pero sí para construir terribles minas y bombas. A consecuencia de ello, Nobel se convirtió en un paria internacional, una diana fácil de los editoriales de la prensa y de políticos airados. He aquí un hombre, decían a grandes voces, que forja su fortuna con la muerte.

Nobel consiguió hacerse todavía más impopular con sus litigios por patentes. Como James Watt, defendió ferozmente su propiedad intelectual, pero fue incluso peor. Para empezar, Nobel tenía mucho más que defender: a lo largo de su vida, le concedieron la asombrosa cantidad de 355 patentes, tanto de productos químicos como de equipos para las explosiones; casi se podría hacer con ellas un calendario de una patente al día. En segundo lugar, la naturaleza de la química hacía que los litigios fuesen más complejos. En cuanto Nobel conseguía una patente por una molécula, venía otro y le hacía una pequeña modificación, poniendo algún que otro átomo más o doblando una rama lateral en una dirección distinta. La molécula funcionaba básicamente del mismo modo, pero legalmente caía fuera de lo que protegía la patente. Varias compañías también hicieron sucedáneos de su Dynamit mezclando la nitroglicerina con otras arcillas y llamándola Fuerza de Hércules o Roca Desgarradora. A cada año que pasaba, Nobel pasaba menos tiempo investigando y más poniendo pleitos a sus competidores.

Sin embargo, pese a los litigios y la mala prensa, los negocios de Nobel no hacían más que crecer, y es que a la gente le preocupaba más disponer de prácticos canales y túneles para trenes que la muerte de algunos trabajadores. El hombre que tiempo atrás trabajaba en una barcaza pronto estuvo a la cabeza de un imperio de noventa y tres factorías en veintiún países, y amasó una fortuna equivalente a unos 250 millones de dólares actuales. Buena prueba del dominio de Dynamit sobre el mercado de explosivos es el hecho de que la marca comercial se convirtiera en dinamita, una palabra común, en minúscula, igual que termo o táper.

La riqueza, empero, no hizo feliz a Nobel. Siempre distante, nunca contrajo matrimonio y en su edad madura se fue apartando cada vez más de su familia. Ocasionalmente renovaba su sueño de juventud de convertirse en escritor y esbozaba un poema o una obra de teatro, pero no se atrevía a publicarlos. A medida que se hacía más profunda la repulsión que hacia él sentía el mundo, él mismo comenzó a despreciarse por haber matado a su hermano y haber hecho fortuna con la guerra. Cuando le pidieron que aportara unas líneas sobre sí mismo a una genealogía de la familia, escribió: «Alfred Nobel, un mísero medio vivo a quien un médico compasivo debería haber asfixiado tras el primer llanto que anunció su vida. Mayores méritos: mantiene las uñas limpias. Mayores defectos: no tiene ni familia, ni temperamento alegre ni buen estómago. Su mayor y único deseo: no ser enterrado vivo». En su momento más bajo llegó a hablar de abrir un opulento «emporio del suicidio» donde la gente pudiera espicharla en paz en lujosas camas de habitaciones privadas mientras al fondo sonaba música clásica.

No obstante, no supo realmente cuánto lo odiaba el mundo hasta 1888, cuando su hermano Ludvig murió en Cannes. Unos días más tarde, un periódico francés, pensando por error que quien había muerto era Alfred, publicó un obituario titulado «Muere el mercader de la muerte». Nobel, que a la sazón vivía en París, sintió un escalofrío. Pese a todos los túneles y puertos y metros que había ayudado a construir, pese a toda la riqueza mineral que había ayudado a extraer, «para ellos no soy más que un vulgar asesino». Decidido a salvar su reputación, enmendó su testamento y estableció un fondo para un premio que recompensara las mejores investigaciones en química, física y medicina. Para compensar su perdido sueño de juventud, también proveyó fondos para un premio de literatura. Y para expiar toda una vida vendiendo muerte, dotó también un premio Nobel de la paz. (Quizá todos deberíamos tener la suerte de leer nuestros propios obituarios...)

La salud de Nobel, siempre delicada, acabó por fallarle durante los años siguientes. Llevaba mucho tiempo sufriendo dolores de cabeza a causa de la inhalación de vapores de nitroglicerina, una queja que compartían muchos de los trabajadores de sus factorías. Cuando se metaboliza en el cuerpo, la nitroglicerina libera óxido nítrico (NO), y este gas provoca la dilatación de los vasos sanguíneos, inundando el cráneo de sangre y produciendo fuertes



dolores de cabeza. Nobel al parecer nunca llegó a hacerse inmune, aunque mucha gente desarrolla una tolerancia. De hecho, sus trabajadores solían untar la banda interior del sombrero con un poco de nitroglicerina cada viernes, o esnifaban un poco durante el fin de semana, para no perder la tolerancia y llegar al lunes con dolor de cabeza.

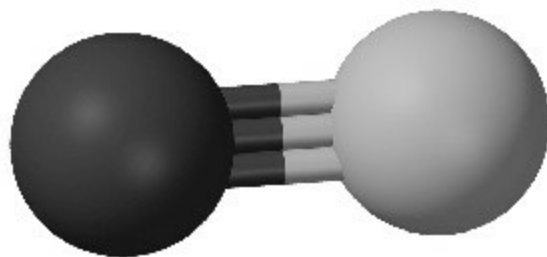
Aparte de las migrañas, Nobel también sufría de angina de pecho, una consecuencia de la acumulación de placa en las arterias coronarias que reduce el suministro de oxígeno a los músculos del corazón, produciendo un grave dolor de pecho. Irónicamente, cuando Nobel finalmente buscó tratamiento, su médico le recetó nitroglicerina, que como hace que se dilaten los vasos sanguíneos, cuando se inyecta en pequeñas dosis, insuficientes para producir dolores de cabeza, ayuda a abrir las arterias coronarias lo suficiente para aliviar el sufrimiento por la falta de oxígeno. (Algunos de los empleados de Nobel ya se habían dado cuenta de eso: a diferencia de los que temían los lunes, a los que sufrían de dolores de pecho les encantaba volver al tajo. Los vapores eran medicina gratuita.) Al principio, sin embargo, Nobel se negó a tomar nitroglicerina. La sustancia química ya dominaba sus pensamientos y sus negocios, e inyectársela en el cuerpo le parecía un exceso. Pero al final accedió y dejó que aquella extraña y mortífera sustancia le llegara al corazón.

Nobel sufrió un ictus el 10 de diciembre de 1896 y fue hallado muerto en su silla. Unos días más tarde sus albaceas leyeron su testamento de cuatro páginas a sus parientes, que descubrieron con horror que todo «su» dinero iba a parar a un estúpido fondo para un premio. Por suerte para ellos, Nobel había escrito el testamento sin consultar con ningún abogado. (Tras décadas de litigios por patentes, había perdido la confianza en toda la profesión.) Aquello dejaba su testamento expuesto a apelaciones legales y durante años se sucedieron mezquinas disputas. Apareció incluso una amante secreta que amenazó con enviar las cartas de amor de Nobel a toda la prensa amarilla. Cuando pensamos en los premios Nobel, solemos pensar en algo excelso, en los mejores logros de la humanidad, pero se fundan en la vanidad (la de un hombre agonizante que intentaba lavar su reputación) y casi no llegaron a ser por culpa de la vulgar codicia.

Al final, los albaceas de Nobel compraron a todos cuantos hizo falta. El último obstáculo para establecer los premios requería transferir la fortuna de Nobel de París a Suecia. Entonces, obviamente, no existían las transferencias electrónicas y nadie estaba dispuesto a asegurar la transferencia de tanto dinero, así que uno de los albaceas decidió sacar del banco, por su propia cuenta, fajos de billetes y bonos por valor de varios millones cada vez, que metía en maletas. Entonces cogía un revólver cargado y personalmente los escoltaba a través de Europa en trenes y carruajes. Pese a todas las dificultades, los primeros premios Nobel se concedieron el 10 de diciembre de 1901, tan solo cinco años después de la muerte de Alfred Nobel. Más de un siglo después se han convertido en los premios más prestigiosos de la ciencia y han dinamitado la reputación de Nobel como mercader de la muerte.

Máquinas de vapor y explosivos ayudaron a catapultar la Revolución industrial, permitiéndonos levantar miles de kilos sin esfuerzo o derrumbar en cuestión de minutos un monte que llevaba en pie desde los tiempos de los dinosaurios. Pero no fueron las únicas tecnologías importantes de la era, ni siquiera las más importantes basadas en gases. Otro avance fundamental tenía que ver con la fabricación de metales de gran calidad, especialmente acero. Puede parecer que el acero y los gases no tienen mucho que ver, pero nunca habríamos podido construir los puentes, rascacielos y superpetroleros que tan prominentes son en nuestro mundo de no haber sido por algunos descubrimientos fundamentales sobre la química del aire.

## Interludio. Acerados frente a la tragedia



*Monóxido de carbono (CO), actualmente 0,1 partes por millón en el aire (más en áreas urbanas); inhalamos aproximadamente 1.000 billones de moléculas con cada aliento.*

Se puede debatir sobre los méritos de Chaucer y Milton, o de Auden y Yeats, pero cuando se trata del peor poeta en lengua inglesa, William Topaz McGonagall queda claramente por debajo de todos.

En la Escocia del siglo XIX, el público acudía en tropel a escuchar y detestar sus recitales, y se hace difícil decir cuál de sus ofensas literarias les resultaba más deleitable, si las torpes rimas, los burdos ritmos, los insulsos mensajes («Como la mayoría de los grandes hombres, nací en un periodo muy temprano de mi existencia») o su inquebrantable fe en su propia brillantez (tituló su libro *Gemas poéticas*). Tal vez se tratase de sus declamaciones histriónicas y estridentes, o del hecho de que apareciera en escena con un *kilt* y blandiendo una espada. (En su defensa, la espada le resultaba útil para apartar, a medio verso y a medio camino por el aire, el pescado o la manzana podrida que ocasionalmente le lanzaban.) Pero probablemente la mayor habilidad de McGonagall fuese su capacidad para abordar momentos auténticamente tristes y restarles cualquier pasión: nadie podía transformar más deprisa lo patético en anodino. A su obra maestra me remito, «El desastre del puente Tay». ¡Por favor!



*William McGonagall, probablemente el peor poeta de la historia.*

En la tarde del domingo 28 de diciembre de 1879, un tren que se dirigía al norte comenzó a cruzar el puente más largo del mundo, que se tendía a lo largo de 3,2 kilómetros sobre el estuario del Tay en el este de Escocia. Shakespeare había situado cerca de allí la acción de *Macbeth*,\* pero a McGonagall el paisaje no lo elevó a las mismas alturas. «Cuando el tren dejó Edimburgo / los corazones de los pasajeros latían ligeros, libres de toda pena», observaba, situando hábilmente la escena. Pero no todo iba bien, pues «la lluvia comenzó a caer / y las negras nubes frunció el ceño». Y así era, pues mientras el tren cruzaba «el argénteo Tay», «las vigas centrales con gran estruendo cedieron» y el puente se derrumbó. Todos los pasajeros del tren fallecieron, y McGonagall lamentaba este «último Día del Señor de 1879 / que será por mucho tiempo recordado». Gracias a McGonagall el desastre es recordado, aunque no por las más solemnes razones.

Como la mayoría de sus coetáneos, McGonagall culpó a «el viento que sopló con todas sus fuerzas» de que el puente cayera. Pero aunque el viento efectivamente sopló con todas sus fuerzas aquel último Día del Señor de 1879,

la química moderna puede apuntar a otro culpable: el monóxido de carbono. Y no por su presencia, sino por su *ausencia* durante la producción de las torres de hierro del puente.

Pensamos en el hierro como un metal fuerte, pero en realidad el hierro puro es débil. A un nivel molecular, sus átomos forman unas lisas y finas láminas que pueden ser bonitas pero tienden a deslizarse unas sobre otras cuando se someten a presión. Esto hace que el hierro puro (el hierro forjado) sea bastante maleable y, por lo tanto, ideal para creaciones artísticas o de ingeniería que requieran flexibilidad, pero inútil para soportar grandes pesos.

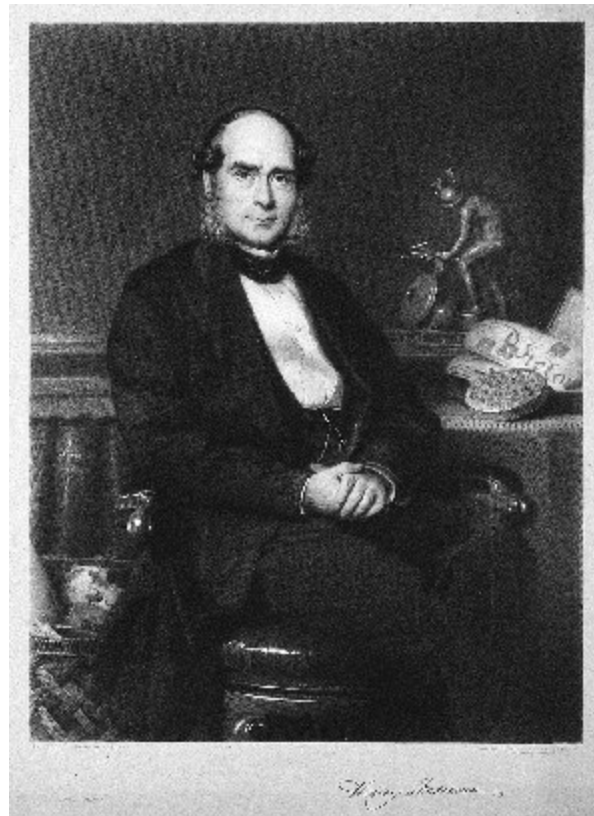
Para los ingenieros del siglo XIX, la alternativa al hierro forjado era el hierro colado. Este contiene impurezas, sobre todo átomos de carbono, que rompen la lisura de las láminas moleculares e impiden que se deslicen unas sobre otras. Este hierro colado era bastante fuerte, perfecto para soportar puentes y grandes edificios, pero, por desgracia, el carbono también hace que sea inflexible y quebradizo. Como la cerámica, el hierro colado es fuerte hasta cierto punto, pasado el cual puede doblarse o partirse bajo una tensión excesiva.

Lo que los ingenieros realmente necesitaban para sus proyectos de construcción a gran escala era acero, una aleación de metal con alrededor de 1 o 2 por ciento de carbono, lo suficiente para hacerlo más fuerte sin tornarlo quebradizo. Por desgracia, en aquella época fabricar acero era una auténtica pesadilla porque requería de un larguísimo proceso.

Este comenzaba con el mineral de hierro. Desde la Catástrofe del Oxígeno de hace varios miles de millones de años, la mayor parte del hierro de la Tierra quedó atrapado en el interior de menas como la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) o la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Para liberar el hierro que contienen, hay que fundirlos, es decir, calentar el mineral con coque (un sólido derivado del carbón que es rico en carbono) mezclado con un poco de aire. El aire contiene oxígeno, que reacciona con el carbono del coque formando monóxido de carbono (CO).<sup>\*</sup> Entonces el monóxido de carbono penetra en el mineral y como un comecocos se va tragando átomos de oxígeno y formando  $\text{CO}_2$ . Este proceso también introduce carbono del coque en el hierro. Así pues, el producto inicial de la fundición del hierro, el arrabio, es un hierro colado rico en carbono.

Hacer hierro forjado aún requería algunos pasos más. Primero, los trabajadores fundían el hierro colado, un proceso caro porque consume mucho combustible. Entonces añadían algo más de mena de hierro en el cubilote. Poco a poco, el carbono del arrabio fundido y el oxígeno de la mena fundida reaccionaban formando más monóxido de carbono, que salía en forma de burbujas, dejando atrás un hierro forjado puro. Pero como esta reacción requería mezclar líquidos, no gases, necesitaba de varios días. Entre tanto, alguien tenía que estar allí, removiendo la mezcla a mano.

En este punto se paraban la mayoría de las fundiciones. Pocas daban el siguiente paso para hacer acero, que requería aún más trabajo. Primero, aquellos entregados fundidores mezclaban más coque con el hierro forjado, para añadir de nuevo un poco más de carbono, y luego tenían que cocer la mezcla durante varias semanas. Por lo tedioso del proceso, las fundiciones solían producir acero en pequeñas cantidades, como un trabajo casi artesanal para proveer a los fabricantes de herramientas o cuchillas. Nadie soñaba con hacer edificio enteros de acero. Para eso, los ingenieros tenían que arreglárselas con el hierro.



*Henry Bessemer, magnate del acero. (Imagen por gentileza de Wellcome Trust.)*

Así era el arte de la fabricación de acero cuando el inglés Henry Bessemer entró en escena. Bessemer, que tenía el aspecto de un general de la guerra de Secesión de Estados Unidos, con sus grandes y pobladas patillas, acumuló a lo largo de su vida 117 patentes de todo tipo: microscopios, terciopelo, barnices, ingenios azucareros, lo que fuera. En uno de sus primeros triunfos, en la década de 1850, inventó un proyectil alargado con excelentes propiedades aerodinámicas. Pensó que podría ayudar a los británicos a ganar la guerra de Crimea, pero por desgracia tendía a producir grietas en los cañones de hierro colado de la época. Un Bessemer irritado pero curioso decidió investigar cómo se hacía el hierro y el acero.

La historia de los descubrimientos de Bessemer en este campo es larga y complicada, y no tenemos espacio para ocuparnos de ella aquí. (También participaron otros químicos e ingenieros, a la mayoría de los cuales se negó egoístamente a darles crédito en años posteriores.) Baste con decir que por medio de una serie de felices accidentes y astutas deducciones, Bessemer fue a dar con dos atajos para fabricar acero.

Comenzaba fundiendo el arrabio, como la mayoría de los fundidores. Entonces añadía oxígeno a la mezcla, para extraer el carbono, pero en lugar de usar mena de hierro para suministrar los átomos de oxígeno, como hacía todo el mundo, Bessemer usaba inyecciones de aire, un sustituto más rápido y barato. El siguiente atajo resultó ser aún más importante. En lugar de añadir a la mezcla mucho gas oxígeno y sacar todo el carbono del hierro fundido, Bessemer decidió interrumpir el flujo de oxígeno a medio proceso. En consecuencia, en lugar de un hierro forjado libre de carbono, obtenía un acero un tanto enriquecido en carbono. En otras palabras, Bessemer podía hacer acero directamente, sin todos los pasos adicionales y los costosos materiales.

Primero investigó este proceso haciendo burbujear aire en el arrabio fundido con una suerte de larga cerbatana. Cuando vio que funcionaba, organizó una prueba a mayor escala en una fundición de los alrededores: 300 kilogramos de hierro fundido en un cubilote de 90 centímetros de diámetro. En lugar de usar sus propios pulmones, esta vez dispuso varias máquinas de vapor para que inyectasen aire comprimido en la mezcla. Los trabajadores de

la fundición miraron a Bessemer con compasión cuando este les explicó que quería hacer acero con soplos de aire. Y lo cierto es que aquella tarde, durante diez largos minutos, no ocurrió nada. Pero de repente, como recordaría más tarde, «una sucesión de leves explosiones» sacudió la sala. Del cubilote salieron blancas llamas y con ellas el hierro fundido, como «un auténtico volcán», amenazando con incendiar el techo.

Tras aguardar a que acabara la pirotecnia, Bessemer inspeccionó el contenido del cubilote. A causa de las chispas, no había logrado apagar a tiempo las inyecciones de aire, y había quedado hierro forjado puro. Todo lo que tenía que hacer ahora era determinar el momento justo en que había que cortar el flujo de aire, y tendría acero.

Llegados a este punto, todo avanzó deprisa para Bessemer. Durante los cinco años siguientes no paró de obtener patentes, y la fundición que estableció logró reducir el coste de producción de acero de unas 40 a unas 7 libras por tonelada. Y lo que es mejor, podía obtener acero en menos de una hora en lugar de semanas. Estas mejoras por fin hicieron que el acero estuviera a disposición de los grandes proyectos de ingeniería, un avance que, a decir de algunos historiadores, de un solo golpe puso fin a tres mil años de Edad del Hierro y empujó a la humanidad a la Edad del Acero.

Como es natural, ese juicio es retrospectivo. En aquel momento, las cosas no fueron tan de color rosa y a Bessemer le costó mucho convencer a la gente para que se fiara de su acero. El problema era que cada una de las partidas de producción variaba significativamente en calidad porque era muy difícil determinar en qué momento justo había que cerrar la entrada de aire. Y lo que es peor, el exceso de fósforo de las menas de hierro inglesas producía en muchos casos un acero quebradizo, con tendencia a fracturarse a bajas temperaturas. (Bessemer, que tenía una suerte endemoniada, había hecho sus pruebas iniciales con una mena libre de fósforo procedente de Gales, si no también habría fracasado.) Otras impurezas introducían otros problemas estructurales, y cada fiasco minaba un poco más la confianza de la gente en el acero de Bessemer. Igual que Thomas Beddoes con la medicina con gases, colegas y competidores acusaron a Bessemer de promocionar su acero por encima de su calidad, incluso de perpetrar un fraude.



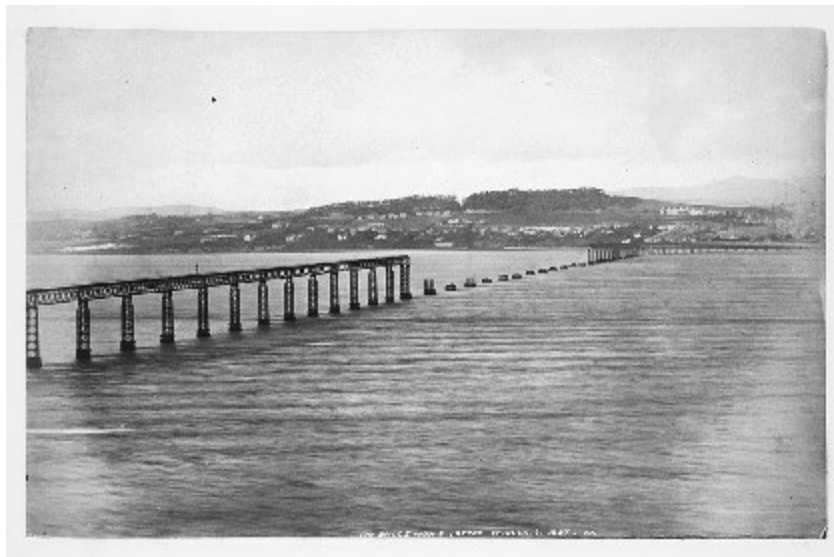
Durante la siguiente década Bessemer y otros trabajaron con todo el ahínco de James Watt para acabar con estos problemas, y hacia los años 1870 el acero era objetivamente un metal superior al hierro colado, más fuerte, ligero y fiable. Pero no se puede culpar a los ingenieros porque conservaran cierto recelo. El acero parecía ser demasiado bueno para ser cierto; parecía imposible que unos soplos de aire pudieran realmente endurecer tanto un metal, y además, años y años de problemas con el acero había erosionado su fe. En una ocasión, cuando Bessemer sugirió usar vigas de acero para hacer los raíles de los trenes, un ejecutivo del ferrocarril le espetó: «¿Desea usted verme procesado por homicidio?». Y la todopoderosa Cámara de Comercio Británica, que supervisaba las obras públicas, prohibió usar acero en las estructuras de soporte de los puentes. Por eso, cuando en 1871 se inició la construcción del puente sobre el Tay, los ingenieros no tuvieron más opción que usar hierro colado para las torres de apoyo y hierro forjado para los travesaños, con la esperanza de que sus debilidades quedasen mutuamente compensadas.

No es que los ingenieros creyesen que este plan fuera a comprometer su diseño. Al contrario, ensalzaron el puente del Tay como el más largo y fuerte jamás construido, el *Titanic* de la arquitectura. Por desgracia, varios factores conspiraron para minar el puente. El primero fue la mala comunicación entre la fundación que suministró los lingotes de hierro colado y la empresa de construcción que finalmente fundió el hierro y erigió las torres. En una escena que parecía salida directamente de *Catch-22*,<sup>1</sup> la empresa constructora requirió el «mejor» hierro disponible para algunos componentes. No sabían que la fundación vendía lingotes de hierro de tres calidades: mejor, mucho mejor y muchísimo mejor. Así que al pedir el «mejor», la constructora recibió el peor. Durante la fundición y vertido en los moldes, algunas partes estructurales de las torres se fracturaron y tuvieron que ser soldadas; además, las torres acabaron picadas, como si estuviesen podridas. Para no retrasar las obras, los trabajadores que levantaron las torres rellenaron los agujeros con una masilla hecha de materiales no demasiado aptos para soportar pesos: colofonia (una resina), cera de abeja, esquirlas de hierro y, naturalmente, tizne

para ocultar su subterfugio. (Los trabajadores llamaban a esta masila «Beaumont's egg» [literalmente, huevo de Beaumont], una corrupción de su nombre francés, *beau montage*.)

Una vez inaugurado el puente, unos inspectores indolentes acrecentaron aún más los riesgos al no informar de varias grietas que se habían abierto. Un historiador describió del siguiente modo la prueba hecha por un inspector: «Mojaba con saliva una hoja de papel de su libreta, la pegaba sobre la grieta y esperaba a que pasase el siguiente tren. Si no había desgarros en el papel, ¡no había problema!». Para acabar de empeorar las cosas, el puente estaba mal diseñado desde el principio, demasiado pesado en la coronación y con tendencia a balancearse; incluso en días calmos, se movía de lado a lado de diez a quince centímetros cuando pasaba un tren. Además, el ingeniero jefe, Thomas Bouch, había errado algunos cálculos y no había reforzado el puente lo suficiente frente a los golpes de viento.

A consecuencia de todo ello, el 28 de diciembre de 1879, con vientos de temporal (100 kilómetros por hora) soplando contra él, el puente del Tay se tambaleaba como una palmera en un huracán. Cuando un pequeño tren de pasajeros lo cruzó a las seis de la tarde, a punto estuvo de descarrilar: se deslizó contra la baranda y, lanzando chispas, lo cruzó por los pelos.





*La destrucción del puente sobre el Tay, en Escocia.*

El tren exprés de cien toneladas que pasó una hora más tarde no tuvo tanta suerte. También se deslizó sobre la baranda, produciendo una lluvia de chispas aún mayor. Pero, como si lo tuviera planeado, el viento se encabritó justo entonces, golpeando la estructura en el peor momento. Un puente hecho de acero fuerte y flexible podría (solo podría) haber resistido. El hierro fundido, rígido y mal hecho, no tuvo ninguna oportunidad. Las doce torres centrales se desplomaron, pum, pum, pum, pum, abriendo una brecha de 800 metros en medio del puente. El tren salió volando hacia el vacío, cayendo 28 metros hasta el agua y matando a los setenta y cinco pasajeros.

El gobierno enseguida abrió una investigación y sacó a la luz hasta el último y más sórdido detalle de la pésima construcción y del «traidor» (en sus palabras) hierro fundido. Como necesitaban un cabeza de turco, los investigadores sacrificaron a Bouch, el ingeniero jefe, sin importarles que hubiera sido armado caballero aquel verano (casualmente, junto a Henry Bessemer) o que hubiera perdido a su yerno en el accidente. Bouch, que ya estaba débil y enfermo, se derrumbó y falleció a los pocos meses.

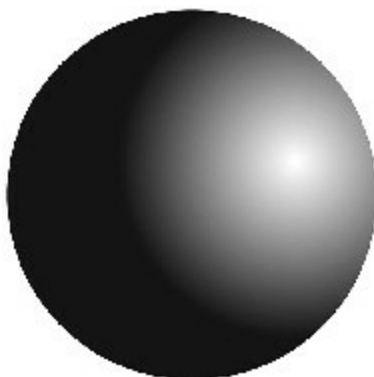
Mientras todos estaban distraídos, la Cámara de Comercio calladamente rescindió su prohibición del acero en los puentes. De hecho, uno de primeros puentes que aprobaron, el reemplazo del tramo perdido en el puente sobre el Tay, utilizó acero para las torres de apoyo. Se inauguró en 1887 y aún está en pie a día de hoy. Naturalmente, William Topaz McGonagall escribió otra gema poética para conmemorar el evento.

Las historias de los capítulos precedentes sobre el vapor y los explosivos hacían hincapié en la potencia de los gases, y la producción de acero parece reforzar ese tema; al fin y al cabo, es una infusión de monóxido de carbono y oxígeno lo que transforma la quebradiza mena de hierro en el fuerte acero. Pero en realidad hay una lección más importante que extraer de todo esto, y es sobre la elegancia de los gases.

Un poeta mucho mejor que William McGonagall, e. e. cummings,<sup>2</sup> captó este sentimiento a la perfección en un contexto distinto. En un famoso poema, cummings se maravilla de los sentimientos que una amante despierta en su interior, «pétalo a pétalo [...] mientras la primavera abre / (tocando hábil, misteriosamente) su primera rosa». Insiste en que «nadie, ni siquiera la lluvia, tiene manos más finas». Es una hermosa manera de concebir la lluvia, cómo se filtra en el suelo y anima la vida allí enterrada, trabajando en una dimensión que apenas podemos imaginar. Lo mismo hacen los gases. Tanto si hablamos del paso a dos de los gases en los pulmones como de la delicada cirugía que CO y O<sub>2</sub> ejecutan en el acero, su alquimia no parece menos misteriosa. También los gases tienen manos finas.

6

## Hacia el cielo

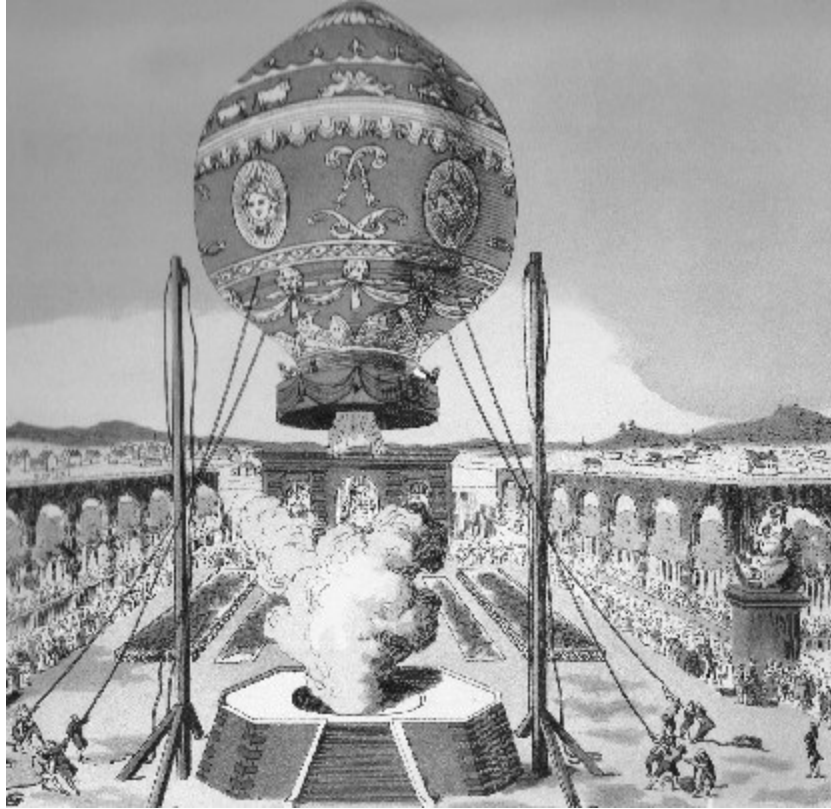


*Helio (He), actualmente cinco partes por millón en el aire; inhalamos 70.000 billones de moléculas con cada aliento.*



*Argón (Ar), actualmente uno por ciento del aire (10.000 partes por millón); inhalamos un trillón de moléculas con cada aliento.*

Aparte de permitirnos realizar grandes progresos materiales, los nuevos experimentos con el aire también tocaron el espíritu humano. Supimos así qué era ese misterioso y mágico gas que nos envolvía, y eso nos proporcionó una comprensión más honda de cómo funciona nuestro planeta. Y lo que quizá sea más sorprendente, a finales del siglo XVIII los gases nos permitieron cumplir el que probablemente fuese el sueño más antiguo de la humanidad, que nuestra especie de pies planos, sin alas y decididamente terrestre alzara el vuelo por primera vez en la historia.



*Uno de los primeros globos Montgolfier, lleno de aire caliente y humo.*

Cuenta la leyenda que la historia del vuelo en la humanidad comenzó con una lencería. Hasta su cuarenta y dos aniversario, la vida de Joseph-Michel Montgolfier había sido básicamente un fracaso. Aunque heredero de una fortuna en la industria papelera, había pasado un tiempo en la prisión de deudores del centro de Francia y luego había sufrido la humillación de ver cómo su hermano menor se quedaba con su participación en el negocio de la familia. La pasión de Montgolfier, el estudio de la química neumática de Priestley y Lavoisier, lo señalaba aún más como un inadaptado a los ojos de los demás. Sin embargo, una tarde de 1782 sus estudios de los gases lo compensaron de la manera más inesperada. Mientras miraba cómo se secaba sobre un fuego la colada que había hecho su mujer, se dio cuenta de que sus calzones se inflaban hacia afuera de la manera más sugerente, marcando paquete. También observó que se levantaban cada vez que el fuego se animaba. ¿Por qué? ¿Qué era lo que los hacía elevarse? Comenzó entonces a preguntarse si no podría fabricar un «saco de aire» lo bastante grande como para levantarlo a él mismo. En mitad de lo que no era más que una caprichosa fantasía, Montgolfier concibió el primer globo aerostático del mundo.\*

Sin pararse a pensar (lo que a veces es una virtud), construyó una barquilla rectangular de madera y la cubrió con seda. Pesaba 2,3 kilos y medía menos de metro y medio de altura, y cuando la sostuvo sobre una pequeña y humeante hoguera en el interior de su casa, flotó hasta el techo. Hizo una prueba parecida en el exterior y vio como ascendía unos veinte metros. Según la mayoría de los relatos históricos, Joseph era un torpe químico, pero de algún modo aquellos experimentos sí le habían funcionado. Estaba eufórico: por una vez no había fracasado.

En ese momento Joseph decidió enseñarle su artilugio a su hermano menor, Jacques-Étienne, y es de admirar la devoción de este hacia un hermano que nunca había conseguido hacer nada. Echando a un lado cualquier duda, ayudó a Joseph a construir una caja más grande, de 7 kilogramos, la cual, *sacrebleu!*, cuando la dejaron alzarse rompió la atadura y voló a la deriva a más de un kilómetro. Fueron entonces en su persecución solo para ver cómo unos cariacontecidos campesinos lo destruían al tocar tierra. De todas formas, los hermanos se marcharon entusiasmados. ¡Un auténtico vuelo! Durante los meses siguientes se dedicaron a planear cómo hacer un globo aún más grande, que esperaban que los hiciera famosos.

Este globo, un experimento en toda regla, mediría nueve metros de diámetro, y por primera vez sería esférico. Para el envoltorio del globo, los Montgolfier intentaron abotonar varias tiras de seda revestidas de papel rígido. Funcionó sorprendentemente bien. Pero su otro experimento principal, con nuevos gases impulsores, resultó ser más difícil. Primero probaron con vapor, que entonces causaba furor en Inglaterra, pero empapaba el papel. Cambiaron entonces al gas hidrógeno de Cavendish, pero descubrieron que nadie había producido más que unos pocos litros de una vez, y ellos necesitarían miles. Y lo que es peor, al ser la molécula más pequeña que existe, el hidrógeno se filtraba fácilmente a través del envoltorio de seda, dejando el globo flácido. Al final, en 1783, volvieron al aire caliente, pero con una modificación. Pese a su pasión por la química, Joseph en realidad sabía muy poco de gases. Para empezar, creía que cuando se calentaba el aire y se le añadía humo, alguna magia hacía que cambiaran sus propiedades químicas. (En realidad, el humo ni siquiera es un gas, sino partículas sólidas suspendidas en el aire, como el agua turbia.) Además, creía que el humo, y

solo el humo, producía el impulso ascendente; es famosa su descripción del globo como «una nube en una bolsa de papel», y aunque suene poético, probablemente se refiriera literalmente a una nube de humo. Así que para la primera demostración pública de su globo no tripulado, en junio de 1783, los Montgolfier hicieron la hoguera más humeante que pudieron, alimentada con paja, lana, pieles de conejo y zapatos viejos.

Pese a ello, a su alrededor se congregaron miles de personas que presenciaron con los ojos llorosos por el humo cómo el globo se hinchaba y tomaba forma. Varios hombres fornidos lo retenían con cuerdas hasta que alguien dio la señal y lo soltaron. De un salto se alzó y sobrevoló sus cabezas como una luna en miniatura.

Aunque la demostración convirtió a los Montgolfier en celebridades, tuvo el indeseado efecto secundario de atraer rivales, y además rivales que sabían lo que hacían. Después de pensar un poco, un segundo par de hermanos que vivían cerca de París, los ingenieros Anne-Jean Robert y Nicolas-Louis Robert, dieron con una manera de hacer globos herméticos al aire, para lo cual disolvían goma en trementina y pintaban la seda con el barniz resultante. Aquello estropeaba la estética de su globo (la pauta de franjas rojas y blancas que habían concebido acabó siendo de color rojo y del color de los dientes manchados por el tabaco), pero les ofreció la posibilidad de usar hidrógeno en los globos porque las diminutas moléculas de  $H_2$  no podían difundirse a través del barniz. Un químico que los hermanos conocían, Jacques-Alexander-César Charles, resolvió entonces el otro problema del hidrógeno al dar con una manera de producirlo en grandes cantidades. Lo consiguió llenando un enorme barril con hierro y añadiendo ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). El ácido se descomponía en contacto con el metal, liberando gas hidrógeno que introducía en el globo por medio de unos gruesos tubos de piel. Necesitó 500 kilos de hierro y cuatro complicados días de trabajo en agosto de 1783, pero consiguió llenar el globo con 34.000 litros de hidrógeno. (Para sufragar el coste del trabajo, vendió entradas para presenciar el llenado, convirtiéndolo en un espectáculo público, al estilo de los experimentos de Lavoisier.) Después de soltarlo, el globo fue a tocar tierra a unos increíbles veinticinco kilómetros en un campo a las afueras de París. De inmediato, unos campesinos lo atacaron



con horcas y guadañas, convencidos de que un monstruo había caído del cielo. Tampoco en esta ocasión la destrucción de un globo deslució la sensación de triunfo.



*Unos campesinos atacan un globo que ha tocado tierra a las afueras de París.*

Estupefactos ante la noticia, los Montgolfier se apresuraron a trasladar su taller al norte de Versalles para empezar a planificar un segundo vuelo. Naturalmente, al ser franceses, contrataron un diseñador de papeles pintados para darle un toque de elegancia a su globo. El resultado fue una deslumbrante bolsa de color azul celeste salpicada de dorados signos del zodiaco. Esta vez los hermanos también decidieron hacer la prueba con unos animales, una oveja, un gallo y un pato que viajaban en una jaula que pendía del globo. (A saber por qué decidieron enviar un pato, que puede volar por su cuenta.) Para entonces, su rutina de llenado con humo de zapatos viejos ya era casi una pseudociencia, y mientras el rey Luis XVI presenciaba la escena, llenaron el globo en pocos minutos. Entonces los quince hombres que lo retenían en el suelo lo soltaron. La multitud gritó al ver que el globo se tambaleaba ladeado mientras los animales graznaban y balaban. Pero el globo se enderezó al ascender, y acabó tocando tierra, sin daño alguno, a unos tres kilómetros de distancia.

Los Montgolfier y los Robert comenzaron entonces a luchar por el gran premio: el primer vuelo tripulado. El rey Luis, pesimista sobre las posibilidades de sobrevivir al intento, sugirió enviar a dos criminales, pero los dos equipos desaprobaron la idea porque no querían que unos convictos les robasen la gloria.

Si nos basamos únicamente en la perspicacia científica, el equipo Charles-Robert llevaba las de ganar. Los hermanos eran mejores ingenieros y Charles era un excelente químico. Pero al final el entusiasmo pudo más que la erudición, y el 21 de noviembre de 1783 los Montgolfier ayudaron a dos de sus amigos (un físico llamado Jean-François Pilâtre de Rozier y un marqués de la región) a subir a una barquilla bajo su nuevo globo anaranjado. Los hombres que aguantaban las cuerdas las soltaron y la esfera naranja comenzó a volar sobre París como un lento meteoro. Antes de aquel día, sin duda millones de personas a lo largo de la historia habían mirado al cielo, a las aves que volaban sobre sus cabezas, pensando «Una vez, ni que sea una vez...». Pilâtre de Rozier y el marqués por fin hicieron realidad aquel sueño, tocando tierra a ocho kilómetros de distancia y convirtiéndose en los primeros humanos que volaron.

Aunque el equipo Charles-Robert perdió la carrera, París no mostró menos entusiasmo por su primer vuelo tripulado, que se produjo dos semanas más tarde, a primeros de diciembre. Según algunas estimaciones, la mitad de la población de París (medio millón de personas) miraron cómo Jacques Charles y Anne-Jean Robert subían a bordo. (Entre el gentío estaba el embajador Benjamin Franklin, que una semana más tarde firmaría el tratado que pondría fin a la guerra de independencia de Estados Unidos. Cuando un espectador cínico le preguntó a Franklin aquel día «¿Para qué sirve un globo?», Franklin le respondió: «¿Para qué sirve un recién nacido?».) Como el hidrógeno proporciona más impulso que el aire caliente, Charles y Anne-Jean permanecieron en el aire durante dos horas, aterrizando a más de treinta kilómetros de distancia justo después de anochecer. Como un niño en una feria, Charles inmediatamente pidió volar de nuevo, y unos minutos más tarde realizó la primera ascensión en solitario, subiendo hasta 3.000 metros de altura, lo bastante como para ver de nuevo la puesta de sol. Por desgracia, las subidas y bajadas del vuelo lo dejaron con un punzante dolor de oídos. Tras

tocar tierra, nunca más volvió a volar, aunque no sabemos si fue porque sabía que no podría superar la doble puesta de sol o porque no quería sufrir otra vez el doble dolor de oídos.

Los vuelos en globo no tardaron en convertirse en un espectáculo público en Europa, aunque peligroso. Los «aeronautas» profesionales comenzaron a competir para ver quién podía volar más alto, más lejos, más rápido. Los de mayor éxito se convirtieron en verdaderas celebridades, los Evel Knievel de su tiempo.<sup>1</sup> Otros pilotos comenzaron a ofrecer vuelos de recreo que incluían un pícnic a bordo: los pasajeros merendaban pollo asado, *croissants* y limonada con hielo mientras admiraban el paisaje desde lo alto. (Con el champán no hubo manera: a causa de la baja presión atmosférica, las burbujas se expandían demasiado deprisa en la botella y el champán perdía fuerza.)\* En la mayoría de los vuelos, la única nota negativa para los pasajeros eran las bajas temperaturas, que los obligaba a envolverse con pieles y mantas. De vez en cuando, sin embargo, los globos se enfrentaban a peligros de verdad. El tiempo cambiaba de manera impredecible a gran altitud, y las tripulaciones a veces se veían ametralladas por el granizo o expuestas a los relámpagos. Algunas personas también sufrían el mal de altura: visión borrosa, piernas abotargadas, dedos ennegrecidos. (En casos extremos, los afectados sangraban por los ojos como las víctimas del virus del Ébola.) Además, ya en 1785 se produjeron los primeros accidentes mortales. De hecho, la primera víctima mortal de los globos aerostáticos fue el primer hombre que voló, el físico Pilâtre de Rozier, cuyo globo se incendió sobre Normandía durante un intento de cruzar el canal de la Mancha. Su prometida, Susan, lo vio caer desde más de 800 metros de altura y estamparse contra el suelo; ella misma murió ocho días más tarde a causa de la conmoción que aquello le causó.

Aparte de los temerarios y los aficionados a los pícnicos aéreos, hubo también varios científicos que se aventuraron por los cielos. Algunos midieron puntos de rocío y campos magnéticos y cosas por el estilo. Otros realizaron experimentos un tanto toscos como el de tirar botellas de licor por la borda y cronometrar el tiempo que tardaban en hacerse añicos contra el suelo. La mayoría se contentaban con observaciones simples aunque sorprendentes. Bandadas de mariposas, por ejemplo, podían aparecer de repente a varios kilómetros de altura y tomarse un respiro sobre la bolsa del globo. La acústica

de los cielos también los sorprendió. Como los globos iban a la deriva con el viento, los pasajeros no oían ningún ruido mientras volaban y los sonidos del suelo les llegaban con asombrosa claridad: cantos de gallos, martillos golpeando yunques, disparos de escopeta. Por otro lado, el cielo tenía un aspecto distinto a gran altura. Con menos aire distorsionando su luz, las estrellas parecían menos suaves y titilantes y más como duros destellos de hielo. Y durante el día, el amable azul del cielo daba paso a un azul de Prusia más oscuro y siniestro.

Los vuelos en globo también estimularon el interés por las propiedades de los gases. No es casualidad que algunos de los primeros aeronautas fuesen también de los primeros en explorar el comportamiento de los gases de una manera sistemática. Estos hombres tenían mucho que perder, su vida incluso, si sus teorías eran erróneas.

Una de las primeras preguntas era exactamente por qué se elevaban los globos sobre el suelo. El principio básico que actúa aquí se remonta a Arquímedes, el famoso nudista de la antigua Siracusa. En el siglo III a.C., el rey de Siracusa le dio a un orfebre del lugar un trozo de oro para que hiciera con él una corona, pero sospechaba que el artista le había estafado, quedándose con un poco de oro y sustituyéndolo por un peso equivalente de plata. El rey no tenía manera de probarlo, así que se dirigió a Arquímedes en busca de ayuda. Tras meditar sobre el encargo durante semanas, Arquímedes estaba un día sumergiéndose en una bañera cuando se fijó en que el nivel del agua ascendía a medida que él se hundía. Ante los ojos se le presentó como un relámpago un experimento, y momentos más tarde las madres griegas les tapaban los ojos a sus hijos en las calles.

En la mayoría de las versiones de esta historia, Arquímedes resuelve el enigma sumergiendo la corona en un recipiente con agua y marcando el nivel hasta el que sube el agua. Luego repite el proceso con un trozo de oro puro de igual peso que la corona. Si el agua asciende hasta un nivel distinto en cada caso, el orfebre ha estafado. Pero muchos historiadores niegan que pueda haber ocurrido así, pues la diferencia de nivel entre el caso uno y el caso dos habría sido, en una vasija griega típica, de apenas medio milímetro, demasiado poco para juzgarla a simple vista. (Inténtese si no.) Lo que Arquímedes probablemente hizo fue lo siguiente: sabía que el agua ejerce una

fuerza ascendente de flotación sobre todo lo que se sumerja en ella (la sentimos cuando nadamos), y cuanto mayor sea el volumen del objeto, mayor es la fuerza. Así que Arquímedes buscó una balanza, puso en equilibrio sobre ella la corona y un trozo de oro puro, y sumergió el conjunto en el agua. La corona obviamente pesaba lo mismo que el trozo de oro (por eso la balanza quedaba equilibrada al principio), pero si la corona contenía plata (o algún metal menos denso que el oro), el volumen de la corona sería mayor. Con un volumen mayor, la corona sentiría una fuerza de flotación mayor bajo el agua, y con una fuerza mayor a un lado de la balanza, esta dejaría de estar en equilibrio. Y así fue. Cuando Arquímedes sumergió la balanza, el lado de la corona se desplazó hacia arriba. Eureka: el orfebre había hecho trampa.

Experimentos como estos dieron origen a lo que hoy conocemos como el principio de Arquímedes y que dice, en primer lugar, que todo objeto sumergido en un fluido experimenta una fuerza de flotación ascendente, y, en segundo lugar, que cuanto mayor sea el volumen del objeto, mayor será esa fuerza. (De forma más rigurosa, la fuerza ascendente será igual al peso del fluido desplazado.)

Pero ¿qué tiene que ver todo esto con los globos? Parecía que poco, pero solo hasta que los científicos del siglo XVIII descubrieron que el aire también es un fluido y también ejerce una fuerza ascendente de sustentación. Si durante nuestra vida cotidiana no la sentimos ni salimos volando es porque es bastante pequeña y nuestro cuerpo es bastante compacto. Pero existe: pesamos un poquitín menos en el aire de lo que pesaríamos en un vacío. Los cuerpos grandes y menos densos, como los globos, notan mucho más esta fuerza. En contra de ella, naturalmente, está el peso del globo y de cualquier carga que lleve (como la barquilla), que tienden a tirarlo hacia abajo, hacia el suelo. También hay que tener en cuenta el peso del propio gas; es decir, cuando se calcula si un globo tiene o no el suficiente impulso ascendente como para volar, no se puede ignorar el peso del propio gas del interior de la bolsa. (Ayuda a generar el impulso ascendente, pero no es una carga «libre»; todavía cuenta como peso.) Por eso los gases como el hidrógeno resultan tan útiles para los globos. Como pesan tan poco, la gravedad tiene poco a qué agarrarse y la fuerza de sustentación lo tiene más fácil para ganarle la partida.

(El hidrógeno, al ser el elemento más ligero, es el que proporciona la mayor fuerza de sustentación por molécula, pero en realidad cualquier gas más ligero que el aire puede hacer volar un globo, por ejemplo el helio, el vapor o el amoniaco. En teoría, incluso un vacío serviría. Esta última idea falla porque no se conoce ningún material que sea lo bastante fuerte como para impedir que un globo con un vacío se colapse y al mismo tiempo lo bastante ligero como para que el aire lo levante: las bolas de cobre no llegan muy lejos.)

Aunque populares al principio, los globos de hidrógeno resultaron ser demasiado caros, demasiado inflamables y demasiado incontrolables para el uso habitual. (El hidrógeno produce tal fuerza de sustentación que basta con verter un vaso de agua en un costado, o siquiera mear, para que el globo se vaya arriba.) Por ello, la mayoría de los aeronautas se decantaron por los globos de aire caliente, y de paso descubrieron que estos se elevan por razones un tanto distintas de las que levantan a los globos de hidrógeno. También aquí Arquímedes desempeña un papel, pero necesitamos algunas herramientas más, las leyes de los gases, para comprender bien lo que ocurre.

A finales del siglo XVIII los científicos sabían algo de las leyes de los gases, que describen las relaciones entre la temperatura, la presión y el volumen de un gas. Por ejemplo, el químico irlandés Robert Boyle había determinado en 1662 que al aumentar la temperatura de un gas, aumenta su presión. En el caso de los globos de aire caliente, tenemos que fijarnos en la relación entre el volumen y la temperatura. Una regla fundamental de los gases es que cuando se calientan, se expanden, y al contrario, cuando se enfrían, se contraen. Puede observarse esta relación con un simple globo de goma: si lo metemos en el congelador, se encoge, y cuando lo sacamos se vuelve a expandir.

En los globos de aire caliente, lo que ocurre es un poco distinto. El aire que llevan en el interior se expande cuando se calienta, naturalmente, pero a diferencia de los globos de fiesta, los globos aerostáticos de aire caliente suelen estar hechos de materiales que no se estiran, de manera que el propio globo apenas se expande. Lo que ocurre es que el gas en expansión empuja por el agujero que hay al fondo del globo, pues no tiene otro modo de salir. Esto hace que dentro de la bolsa quede menos gas y, por consiguiente, menos peso.

Con menos peso que levantar, la fuerza ascendente de sustentación de Arquímedes puede ganarle ahora la partida a la gravedad y levantar el globo hacia el cielo.

Irónicamente, aunque los Montgolfier construían globos de aire caliente y Jacques Charles globos de hidrógeno, fue Charles quien descubrió la ley de los gases que relaciona temperatura y volumen, explicando de este modo cómo funcionaban los globos de aire caliente. Realizó la mayor parte de las investigaciones que condujeron a este descubrimiento en su laboratorio del Louvre. Por alguna razón, sin embargo, dudó a la hora de publicar su ley de la temperatura y el volumen, y hoy recibe poco crédito por ello. Sin embargo, comentó sus experimentos con un colega, Joseph-Louis Gay-Lussac, que amplió y perfeccionó los experimentos de Charles y acabó publicando la ley en 1802.

Como Joseph Montgolfier, la vida de Gay-Lussac cambió por culpa de la lencería. En su caso, porque conoció a quien sería su esposa en una tienda de lencería donde, curiosamente, era la única dependienta que leía un libro de química. Por su parte, ella vio en él un hombre temerario (como eran tantos de sus compañeros químicos). En una ocasión, mientras purificaba sodio y potasio, los metales le explotaron en la cara y a punto estuvo de quedarse ciego. Más tarde se electrocutó tan gravemente con una batería que perdió el uso de sus brazos durante todo un día. En 1844 le estalló otro matraz en la cara, y esta vez claramente habría perdido un ojo de no ser porque llevaba gafas a causa de su primer accidente.

Como es natural, a Gay-Lussac le encantaba arriesgar su vida en los globos y ascendía a los cielos cada vez que tenía la ocasión. Para uno de sus más celebrados vuelos, en 1804, hizo equipo con un físico llamado Jean-Baptiste Biot. Aunque técnicamente era el copiloto, Biot no hacía mucha falta en la barquilla y se pasó casi todo el tiempo midiendo el campo magnético de la Tierra a distintas altitudes. (Le alegró comprobar que se mantiene fuerte incluso a varios kilómetros de altura, pues a diferencia de la temperatura o la presión, apenas varía con la altitud.) Gay-Lussac, entre tanto, esperaba poder recoger algunos datos sobre la composición química de la atmósfera superior.

Con este fin había planeado abrir a distintas altitudes varios frascos en los que previamente había hecho el vacío para así atrapar el aire y analizarlo más tarde.

Sin embargo, a medida que iban ascendiendo, las cosas se torcieron. Biot no era precisamente un corredor de fondo y empezó a sentirse mareado. De repente se desplomó como si estuviera muerto. Al final estaba bien, pero cabe imaginar el pánico que debió sentir Gay-Lussac. Además, entre reanimar a Biot y pilotar el globo, Gay-Lussac se olvidó de sus frascos hasta que tocó tierra. La oportunidad perdida lo enojó, y tres semanas más tarde hizo un ascenso en solitario. Este globo tenía más empuje y, sin la carga de Biot, salió disparado hasta siete mil metros de altura, un récord que se mantuvo imbatido durante medio siglo. Es casi seguro que a esa altura debió sufrir la falta de oxígeno, pero supo despabilarse y consiguió llenar varios frascos con el aire rarificado de aquella gran altitud. Los posteriores análisis revelaron que incluso a varios kilómetros de altitud la composición de la atmósfera es igual que al nivel del mar. En otras palabras, aunque a gran altura hay menos aire, las proporciones relativas de nitrógeno, oxígeno y otros gases son idénticas.

Sin embargo, a medida que los químicos atmosféricos fueron alcanzando mayores altitudes, con la ayuda de globos no tripulados, se dieron cuenta de que el aire cambia de otras formas más sutiles a medida que se asciende. Con el tiempo descubrieron cuatro capas distintas en la atmósfera terrestre, una encima de la otra como las capas de una cebolla. Vivimos en la troposfera, que se extiende desde el suelo hasta unos 16 kilómetros de altura (dependiendo de la latitud y la estación del año). La mayor parte de la meteorología se produce aquí. A continuación está la estratosfera, que contiene ozono y alcanza hasta unos cincuenta kilómetros de altura. La mesosfera, donde se queman los meteoros, llega hasta unos ochenta y cinco kilómetros de altura. Finalmente está la tenue termosfera, que alberga la aurora boreal y se extiende hasta una altura de setecientos kilómetros. Como altitud, setecientos kilómetros resulta vertiginoso, en la frontera con el espacio exterior. Pero visto de otro modo, no es más que setecientos kilómetros; con un coche antigravedad, llegaríamos a esa altura en tan solo siete horas. Durante el viaje, el paisaje se tornaría bastante desolado en poco tiempo: la mitad del peso de la atmósfera de la Tierra se encuentra a menos de 6 kilómetros. Y a solo 11



kilómetros de altura (un paseo de domingo) los niveles de oxígeno caen a una cuarta parte de su valor al nivel del mar, y el aire ya no puede sostener la vida. Los científicos de la Grecia clásica creían que debía mejorar a medida que se asciende a los cielos, donde se alcanza la quintaesencia, pero la realidad es que vivimos en el interior de un precario envoltorio de aire, proporcionalmente más fino que la pela de una manzana.

Además de explorar la atmósfera, Gay-Lussac pasó en su laboratorio el tiempo suficiente para descubrir una nueva ley de los gases. Esta dice que si la presión de un gas aumenta, su temperatura también debe aumentar. Si a alguno este enunciado le produce una suerte de *déjà vu*, no está solo. Los químicos de la época de Gay-Lussac comenzaron a encontrarse una y otra vez con las mismas variables (temperatura, presión, volumen) en torno al comportamiento de los gases. Naturalmente, comenzaron a preguntarse si no habría manera de combinar unas cuantas leyes de los gases en una regla más general, una ley esencial de los gases. Hizo falta una nueva generación, pero en la década de 1830 los científicos finalmente descubrieron la llamada ley de los gases ideales. ¿Preparados? Si usamos  $V$  para designar el volumen,  $T$  para la temperatura,  $P$  para la presión,  $n$  para la cantidad de gas presente y  $R$  para una constante (para que cuadre la aritmética), podemos describir del siguiente modo el comportamiento de cualquier gas conocido:  $PV = nRT$ .

Esta fórmula quizá no parezca muy impresionante. (No oigo a nadie pedir las gafas de sol para verla.) Pero de verdad que es pura nitroglicerina: una increíble potencia en un paquete muy pequeño. Cuando se usa adecuadamente, esta ley puede decirnos al momento todo tipo de cosas sobre el comportamiento de un gas: cómo afecta al volumen un cambio en la temperatura, cómo un cambio en el volumen afecta a la presión, o *cualquier otra combinación* que a uno se le ocurra. Igualmente importante es el hecho de que se pueda extraer conocimiento oculto en esta ecuación. Supongamos que, en una fábrica, las válvulas de presión de una cuba parecen estar dando lecturas erróneas, hasta el punto de preocuparse por si la cuba pudiera explotar. ¿Cómo podemos saberlo? Basta con medir el volumen de la cuba, su temperatura y demás, y *voilà*, la ley de los gases ideales nos revela la presión. Dicho de otro modo, si conocemos los valores de las otras variables, la presión se sigue automáticamente. O supongamos que los termómetros

empiezan a dar errores; podemos inferir sin problema la temperatura, o lo que sea. En cierto modo parece como si se hiciera trampa: medimos una cosa y obtenemos el valor de otra completamente distinta, como si uno pudiera conocer el color de algo midiendo su altura. Pero por disímiles que parezcan desde fuera, la presión, la temperatura y el volumen de un gas están relacionados a un nivel más profundo, más fundamental, y la ley de los gases ideales nos dice cómo es esa relación.

La ley de los gases ideales nos revela realmente toda una nueva manera de pensar sobre los gases. Priestley, Lavoisier y Davy se habían centrado en las diferencias entre gases, en cómo cada nuevo gas olía de forma distinta, o se quemaba de forma distinta o afectaba de distinto modo a nuestra fisiología. En cambio, la ley de los gases ideales se aplica a todos por igual, proscribida toda diferencia, es democrática. Una nube de hidrógeno está hecha de moléculas como mosquitos, una de radón, de moléculas como grandes abejorros, pero el caso es que ambas se expanden exactamente del mismo modo cuando se calientan. Las nubes de gas nitrógeno son serenas y no reactivas, las de cloro, mordazmente tóxicas. Pero si aumentamos la presión de cualquiera de las dos, se contraerán exactamente en la misma magnitud. Los distintos sólidos y los distintos líquidos comparten muy poco entre ellos, más allá del hecho de que generalmente son duros o mojan. Los gases, en cambio, se imitan los unos a los otros hasta un punto increíble. Físicamente, aunque no químicamente, todos los gases se comportan del mismo modo.

Una de las más altas vocaciones de la mente humana es el descubrimiento científico: observar la caótica y embrollada confusión del mundo que nos rodea y destilar algún tipo de esencia inmutable.  $PV = nRT$  consigue eso hasta un punto que pocos principios científicos alcanzan. Cualquier gas en el que uno pueda pensar está representado por esas cinco letras. En los viejos tiempos, la ley de los gases ideales se conocía como ley de los gases perfectos, y a mí me gusta rescatar ese nombre porque la ley realmente apunta a algo absoluto e ideal, algo eterno e imperecedero, algo verdaderamente perfecto que opera en el mundo.

Ha llegado el momento de la confesión: la última sección acaba con una mentira. Una mentira inocua, una mentira bienintencionada, una mentira afable y amable y tal vez incluso noble, pero mentira al fin y al cabo. Y es que

cuando se habla de los gases reales, como el aire que respiramos en este mismo momento, su comportamiento no alcanza la perfección de la ley de los gases perfectos. Es como cuando dibujamos un círculo, aunque sea con un compás: nunca será tan redondo y simétrico como un círculo ideal. Los químicos lo saben, naturalmente, así que cuando hacen un cálculo con la ley de los gases ideales, ya esperan que la realidad se desvíe un poco. Aun así, algunos gases se acercan a la perfección más que otros. De hecho, cuando dos científicos descubrieron unos cuantos gases bastante ideales en la década de 1890, unos gases tan cercanos a la perfección como puedan hallarse en este mundo, el resto de la comunidad científica se negó a creerlos. Especímenes tan sin tacha, pensaban, simplemente no podían existir.

Esta historia comienza con el hombre que probablemente haya demostrado la mayor tolerancia al tedio de toda la historia de la ciencia. John William Strutt nació rico y enfermizo en 1842, y debería haber llevado la vida indolente de un noble inglés de segunda. Había tenido que abandonar la escuela de Eton a causa de una tosferina, y para cuando volvió, no pudo descollar. Sin embargo, había en Strutt algo de ambición. Se matriculó en la Universidad de Cambridge, y en lugar de tratarla como una escuela privada para pulir sus gracias de noble, horrorizó a su familia tomando clases de matemáticas y física. Su éxito en estas clases los dejó todavía más estupefactos, y cuando se rebajó a aceptar *un trabajo* allí como físico, los dejó patidifusos. En 1871 pareció recobrar el sentido, pues se casó y renunció a su puesto. En 1873, a la muerte de su padre, Strutt se convirtió en Lord Rayleigh y se hizo cargo de las propiedades de la familia. Pero aquel viejo prurito pedía a gritos que lo rascaran, y Rayleigh acabó por ceder la gestión del patrimonio a su hermano menor en 1876. En otras palabras, Rayleigh se sometió él mismo a la misma humillación que Joseph Montgolfier había sufrido (que un hermano menor se hiciera cargo de los negocios familiares) para poder centrarse en la ciencia.

Rayleigh gastaba bigotes de foca, patillas pobladas y una calvicie año a año más extensa en la coronilla. Publicó más de cuatrocientos artículos durante su carrera y realizó investigaciones pioneras en una docena de disciplinas, incluida la biología. (Entre otras cosas, descubrió por qué las plumas del pavo real tienen ese lustre metálico tan atractivo.) Pero a

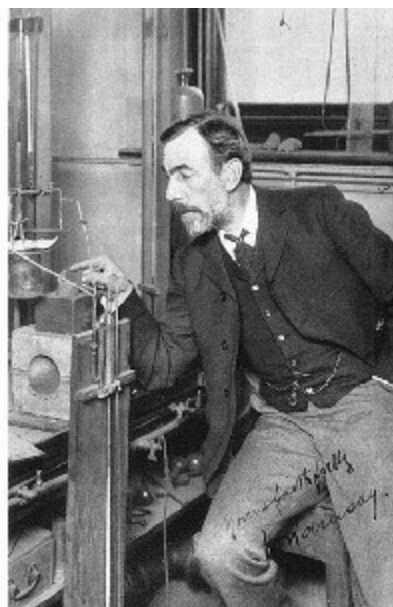
principios de la década de 1880 decidió abordar un tema que era un auténtico plumazo, pues requería medir las densidades de gases como el oxígeno y el hidrógeno. Sin duda ese trabajo había sido importante en otro tiempo, cien años atrás. Pero en su siglo, no estaba claro qué esperaba descubrir Rayleigh. De manera intermitente, dedicó a ese trabajo diez años, al cabo de los cuales no descubrió nada nuevo. Simplemente extendió las mediciones de aquellas densidades en unos pocos decimales. Fue un antieureka.

Increíblemente, el masoquista Rayleigh comenzó entonces una nueva ronda de mediciones de densidades con un gas todavía más aburrido, el nitrógeno. Para hacer las mediciones necesitaba muestras puras de este gas, y las obtuvo extrayendo del aire, uno a uno, el resto de sus componentes. Para quitar el vapor de agua del húmedo aire inglés, colocó en su laboratorio unas mantas de lana en el interior de cámaras de reacción; algunos días llegaban a absorber hasta un litro de agua. Después hacía pasar el aire a través de unos tubos de cobre al rojo vivo para purgar el oxígeno, y a través de potasa (un mineral rico en potasio) para quitar el dióxido de carbono. Con baños de ácido sulfúrico eliminaba el resto de las impurezas, en concentraciones muy pequeñas. Recogía entonces el nitrógeno puro en una ampolla y medía su densidad.

Poco menos que obsesivo, Rayleigh repitió el experimento de purificar el nitrógeno de otro modo. En lugar de extraer el oxígeno con cobre al rojo vivo, esta vez hizo burbujear el aire a través de amoníaco líquido. Este procedimiento era químicamente más complicado. Entre otras cosas, el  $O_2$  reaccionaba con el amoníaco ( $NH_3$ ) produciendo como producto de la reacción nuevas moléculas de nitrógeno. Como de todas formas quería estudiar el nitrógeno, añadir un poco más no debía ser un problema.

No fue así. Rayleigh descubrió que un litro de nitrógeno purificado con amoníaco era siete miligramos más ligero que un litro de nitrógeno purificado con cobre, una diferencia de poco más de un 5 por mil. Tras haber pasado innumerables horas fútiles en laboratorios de química en la universidad, puedo afirmar que si alguna vez conseguía que dos ejecuciones de una prueba concordasen en hasta un 5 por ciento, lloraba de alegría. No suelen conseguirse resultados tan buenos; habría que investigar al que los consigue por si está falseando los datos. A Rayleigh, en cambio, aquella diferencia lo

torturaba. Los científicos de su época disponían de balanzas un millón de veces más precisas que las que había conocido Lavoisier, con una exactitud de una minúscula fracción de un miligramo. Por consiguiente, varios miligramos apuntaban claramente a un error experimental, de modo que Rayleigh comenzó a repasar meticulosamente (neuróticamente) sus resultados. Ingenió seis métodos más para purificar el aire, algunos de los cuales añadían nitrógeno adicional y otros no, y le «molestaba», como él mismo dijo, comprobar que la diferencia persistía.



*Lord Rayleigh (izquierda), el físico que descubrió el argón, y William Ramsay (derecha), el químico que descubrió otros gases nobles.  
(Fotografías por gentileza de Wellcome Trust.)*

Rayleigh finalmente publicó una nota en *Nature* en 1892 admitiendo su desconcierto y reclamando ayuda a los químicos de todo el mundo. La mayoría de las sugerencias que recibió no valían, pero sí le prestó atención a William Ramsay, un esbelto escocés de ojos cansados que trabajaba en Londres. Ramsay no tardaría en obsesionarse con la discrepancia del nitrógeno tanto como Rayleigh, para enojo de este, a quien le parecía que Ramsay se entremetía. En cualquier caso, acordaron mantenerse informados de sus experimentos y publicarlos conjuntamente.

Una idea la descartaron de inmediato. Rayleigh se preguntaba si no habría creado sin querer una forma extraña de nitrógeno, como  $N_3$  (de manera parecida a como hay ozono,  $O_3$ ). Eso habría explicado la diferencia de

densidades, pero Ramsay tiró la idea por tierra, pues la estructura de  $N_3$  parecía inestable.

Por fin llegaron a algún puerto cuando examinaron un viejo y olvidado artículo de Henry Cavendish, En 1785, Cavendish había atrapado una bolsa de aire en un tubo relleno de mercurio, y a través de este había hecho pasar una corriente, provocando que saltasen chispas de un lado al otro del espacio con aire. Estas chispas hacían que el nitrógeno y el oxígeno de la bolsa de aire reaccionasen produciendo unos vapores de color rojo anaranjado. Los vapores se disolvían en el mercurio, y a medida que lo hacían, el tamaño de la bolsa de aire se encogía un poco. Cavendish esperaba que al final se quedase en nada, pero por mucho tiempo que ejecutara el experimento (horas, días, semanas) alrededor del 1 por ciento del gas se negaba a desaparecer. Finalmente se dio por vencido, pero al leer el artículo un siglo más tarde, Rayleigh y Ramsay comprendieron que tal vez había aislado un nuevo gas.

Era, sin duda, una posibilidad remota. En 1892 los científicos llevaban más de un siglo estudiando la composición de la atmósfera, y parecía improbable (por decirlo suavemente) que se les hubiera pasado por alto un 1 por ciento del aire. Por otro lado, un nuevo gas explicaría de un plumazo las extrañas densidades medidas por Rayleigh. Supongamos que realmente haya un gas más pesado que el nitrógeno escondido en las muestras purificadas de aire. La densidad de esas muestras dependería del cociente entre el nitrógeno y el gas  $X$ , del mismo modo que la densidad de una lata de frutos secos variados depende de las proporciones relativas de cacahuets a nueces. Pero cada vez que Rayleigh usaba un método que inadvertidamente añadía nitrógeno (más cacahuets) a la mezcla, desplazaba ese cociente cambiando la densidad en una pequeña fracción. Ramsay y Rayleigh decidieron que merecía la pena buscar ese gas  $X$ .

En su búsqueda del nuevo gas, cada uno de los dos adoptó una estrategia distinta. Rayleigh invocó el espíritu de Cavendish y usó chispas eléctricas para purgar el aire de todo menos el gas misterioso. Este trabajo resultó ser tan monótono que cansó al mismísimo Rayleigh. Instaló en su casa una línea telefónica y colocó uno de los receptores cerca del generador de chispas, que hacía un zumbido mientras funcionaba; el otro receptor lo llevó hasta su biblioteca, donde podía echar un siesta en un sillón y levantarse en cuanto

cesaba el zumbido en la línea. Entre tanto, Ramsay extraía el  $N_2$  de su muestra exponiéndola a magnesio, un metal superreactivo que formaba una costra marrón cuando se combinaba con nitrógeno. Inducir esa reacción requería, sin embargo, calentar el magnesio hasta el punto en que el tubo de vidrio a su alrededor comenzaba a fundirse. Ramsay resultó ser tan inmune a la monotonía como el propio Rayleigh; en una ocasión, pasó diez días haciendo circular nitrógeno por el metal caliente. Pero ambos experimentos funcionaron: los dos científicos obtuvieron un dedal de gas  $X$  con una pureza del 99 por ciento.

A continuación, el dúo investigó las propiedades del gas. Resultó ser inodoro, incoloro e insípido, lo cual resultaba un tanto extraño. Pero lo que hacía especial a aquel gas era su acústica. Las ondas de sonido son básicamente pulsos de energía que se transmiten a través de las colisiones de unas moléculas de gas contra otras. (Es como empujar a alguien en una muchedumbre, que empujará a otros, y estos a otros, y así sucesivamente, transmitiendo hacia afuera la energía original del empujón.) Este movimiento crea pautas de alta y baja presión que nuestros oídos interpretan como tonos. Y estas ondas-empellones se mueven a distintas velocidades en función del peso y forma de las moléculas de gas implicadas.

Aquí la física se torna un pelo complicada (de verdad), pero en palabras llanas, Ramsay y Rayleigh midieron la velocidad del sonido en el gas  $X$  en dos condiciones distintas, y luego convirtieron esas mediciones en un cociente. Esto les ayudaba a determinar la forma de las moléculas del gas porque (y esta es la clave), el cociente varía en función del tamaño y complejidad de las moléculas. A modo de ejemplo, imaginemos que enviamos un pulso de sonido a través de una nube de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) o amoníaco ( $NH_3$ ). Dentro de esas moléculas, los átomos de C, O, N y H pueden torcerse unas con respecto a otras o moverse adelante y atrás como muelles, y estos movimientos adicionales acaban por disipar una parte de la energía del sonido. Además, por otra enrevesada razón física, esta pérdida de energía reduce aquel cociente crucial a alrededor de 1,3. Los gases más simples, como  $H_2$  o  $N_2$ , tienen menos maneras en que los átomos pueden moverse unos con respecto a otros y, por lo tanto, desperdician menos energía. La consecuencia es que el cociente en cuestión es más alto, de 1,4. El misterioso gas de Ramsay y

Rayleigh arrojaba un cociente de 1,67, lo que significaba que era más simple aún que un par de átomos. En otras palabras, tenía un solo átomo, algo inaudito en los gases.

Pero esa tampoco fue la mayor de las sorpresas. Ramsay y Rayleigh quisieron ver cómo reaccionaba su gas con otras sustancias, de modo que lo pusieron en contacto con oxígeno, hidrógeno y dióxido de carbono. No pasó nada. Probaron entonces con sustancias más agresivas como el azufre, el fósforo y el potasio. Ni asustarse. Lo intentaron con cloro y ácidos y otros horrores por el estilo. Ni mu. A la desesperada, probaron con todo lo que tenían en su armario de reactivos, intentando atacar el gas con todo lo que tenían a mano. Ni por esas: ni se inmutó.

En agosto de 1894, el dúo sabía que tenía un gas nuevo y probablemente un elemento nuevo. Pese a ello, dudaban de la conveniencia de comentar la posibilidad en una publicación. Describieron el extraño cociente del sonido y todas las no reacciones, los resultados nulos de sus experimentos, pero rehusaron ir más allá y anunciar un nuevo elemento. En parte eso era buena y saludable circunspección, la obligación de no dejar cabos sueltos. En parte era vanidad. Acababan de descubrir que el Instituto Smithsonian ofrecía un premio de 10.000 dólares (275.000 dólares actuales) al mejor artículo acerca de un descubrimiento original sobre el aire. Como el Smithsonian solo admitía resultados no publicados, el dúo tuvo que callar para poder ganar el premio.

Pero el embargo de los medios de comunicación no se aplicaba a sus colegas, que entendieron perfectamente lo que implicaban aquellos resultados, y no les gustó. Los químicos atmosféricos se sintieron insultados a la cara: ¿cómo iban a haber pasado por alto *todos ellos* aquel misterioso gas? (Si el gas *X* constituía el 1 por ciento de la atmósfera, como el dúo afirmaba, cada humano vivo respiraba cada día unos 150 gramos.) Y lo que es peor, si R&R realmente hubieran descubierto un nuevo elemento (al que algunos científicos ya llamaban argón, por la palabra griega que significa «perezoso»\*), necesitaría un lugar en la tabla periódica. Pero ¿dónde? Basándose en su densidad, Rayleigh había calculado un peso atómico de 40 para el argón. Pero eso lo situaba en la tabla cerca del cloro y el potasio, dos elementos



notablemente reactivos. El padre de la tabla periódica, Dmitri Mendeléyev, por fin intervino para rechazar el argón como algo absurdo, sugiriendo que de algún modo habían creado  $N_3$ .

Rayleigh y Ramsay ganaron el premio del Smithsonian en enero de 1895, batiendo a 218 competidores. Pero fue una victoria pírrica, pues el consenso científico se había endurecido contra ellos durante su silencio. Un crítico denunció el argón como un «monstruo químico, traído de manera inesperada e indeseada, como el cuco, a la antes feliz familia de los elementos». La tabla periódica se había convertido en algo tan fundamental para la química que cualquier cosa que amenazara su legitimidad amenazaba a la propia química. Rayleigh y Ramsay acabaron disculpándose por todo aquel caos, pero no se retractaron ni de una sílaba.

Entonces Ramsay acabó de empeorar las cosas con un nuevo descubrimiento. Unos años antes, en Estados Unidos, un geólogo ingenuo había estado estudiando una mena de uranio cuando observó que de su interior salían unas minúsculas burbujas. Aquel gas no reaccionaba con nada que tuviera a mano, de modo que lo llamó nitrógeno y siguió con lo suyo. Tras el debut del argón, un amigo puso a Ramsay sobre la pista de esta historia. Ramsay recogió un poco de aquel gas que emanaba de la roca y confirmó que no reaccionaba con nada, ni siquiera con las cosas con las que solía combinarse el nitrógeno. Entonces dio un paso más y demostró que aquel gas pesaba mucho menos que el argón, lo que significaba que Ramsay había descubierto otro elemento nuevo. Lo llamó criptón, por el griego *kryptos*, «oculto, secreto». Sin embargo, cuando le envió una muestra a otro científico para obtener confirmación, fue a Ramsay a quien le tocó sorprenderse. Desde la década de 1860 los astrónomos podían descomponer la luz del sol en sus colores constituyentes, y entre esos colores observaron unas extrañas bandas en el amarillo y el verde y a veces en el rojo, que atribuían a un elemento misterioso. El nuevo gas de Ramsay, cuando se calentaba, producía exactamente las mismas bandas de color. En otras palabras, Ramsay simplemente había redescubierto el «elemento del Sol» en la Tierra. Como los científicos ya le habían dado nombre, Ramsay hubo de aceptar el precedente y llamó a este gas helio.\*

El helio complicaba aún más el problema que planteaba el argón, pues ahora los químicos tenían que encontrar sitio para dos cucos en el armonioso nido de la tabla periódica. Aunque unos pocos espíritus valientes habían sugerido que se añadiera a la tabla una nueva columna, solo para gases, Mendeléyev y otros desdeñaron la idea. La tabla periódica era posiblemente el descubrimiento más importante de la historia de la química. Cientos de científicos habían dedicado millones de horas a perfeccionarla. ¿Y ahora se suponía que tenían que reordenarlo todo y meter con calzador una nueva columna por culpa de dos malditos británicos? Ni hablar.

Pero a Ramsay sí le gustaba la idea de una nueva columna, en parte porque implicaba que debían existir otros gases desconocidos. Para poner a prueba su intuición, en 1898 él y un ayudante comenzaron a descomponer en sus constituyentes 1.600 litros de aire, extrayendo el oxígeno, el nitrógeno y otros componentes hasta que solo quedó un gas no reactivo. Entonces enfriaron ese gas en cientos de grados, hasta licuarlo. Sabían que ese líquido era fundamentalmente argón, pero si dentro se escondían otros gases, podrían extraerlos uno a uno calentado el líquido poco a poco. Como ya hemos visto, las diversas sustancias de un líquido tienen puntos de ebullición independientes, todos a distintas temperaturas. Y, en efecto, durante el lento ascenso hasta la temperatura ambiente aparecieron tres nuevos gases. Para uno de los gases recuperaron el nombre criptón. A otro lo llamaron xenón, por la palabras griega que significa «extraño». (Algunos de estos gases tienen nombres vagamente insultantes.) En cuanto al tercer gas, Ramsay anunció su descubrimiento una noche mientras cenaba con su familia. Su hijo Willie, de diez años, lo interrumpió y se atrevió a proponer un nombre, *novum*, nuevo en latín. El padre lo consideró durante la noche, pero quería mantener la coherencia con las otras etimologías griegas, así que como compromiso se decidieron por neón.

Llegados a este punto, uno podría pensar que cinco cucos era mucho peor que dos, pero no. Con cinco gases no reactivos (argón, helio, neón, criptón y xenón), los químicos se sentían mucho más cómodos introduciendo una nueva columna, solo para gases, en la tabla periódica. (Años más tarde los científicos descubrirían un sexto gas para esta columna, el radón. Ramsay confirmó entonces la existencia del radón examinando su espectro

electromagnético, lo que significa que Ramsay tuvo algo que ver con el descubrimiento de todos los gases nobles,\* una hazaña sin precedentes.) Para ser francos, al principio muchos químicos trataron esta nueva columna como un gueto, un lugar donde guardar todos aquellos gases problemáticos y olvidarse de ellos. Con el tiempo, sin embargo, la mayoría llegaron a valorarlos, y hasta el viejo gruñón de Mendeléyev esbozó una sonrisa.\* En la actualidad estos gases son venerados como «gases nobles» porque no se dignan a interactuar con otros elementos. Se sienten felices en su soledad, y la falta de interés hacia otros átomos les permite obedecer la ley de los gases ideales, perfectos, de una forma extraordinaria.

Ramsay acabó ganando en 1904 uno de los nuevos premios de química de Alfred Nobel, y se convirtió en una celebridad científica. En una entrevista atribuyó con modestia su éxito a sus gordos pulgares, que usaba para tapar los tubos de vidrio cuando transfería gases nobles de un lado a otro del laboratorio. También le daba parte del crédito a su gran destreza con los dedos, que había desarrollado durante años liando sus propios cigarrillos. (Desdeñaba los que se compraban en los estancos como «indignos de un experimentador».) Pero al final tanto fumar le pudo, y a mediados de la década de 1910 desarrolló cáncer nasal. Durante su declive, se obsesionó con la primera guerra mundial y el aparente fin de la civilización, y comenzó a hostigar a los científicos alemanes con cáusticas cartas en *The Times* de Londres. (Sus amigos, avergonzados por su conducta, explicaban esta obsesión con Alemania como una locura temporal provocada por el dolor del cáncer.) Ramsay murió amargado en 1916, destrozado por el conocimiento de que los seres humanos raramente se comportan tan perfectamente como sus gases.

Por otro lado, Rayleigh ganó el premio Nobel de física en 1904 por el descubrimiento del argón. El galardón pretendía complementar el premio de química concedido a Ramsay, pero a la vista del gran número de gases nuevos que Ramsay había descubierto, el premio de Rayleigh parecía una coletilla. Uno podría incluso preguntarse qué diablos había estado haciendo Rayleigh durante la década anterior. ¿De brazos cruzados mientras Ramsay reescribía la tabla periódica? En absoluto. Rayleigh había perseguido sus propios intereses, y en una notable hazaña de la física había conseguido demostrar, tras miles de años de especulación, por qué el cielo es azul.

Antes de 1900, filósofos y protocientíficos habían intentado explicar de múltiples maneras por qué el cielo es azul. Algunos afirmaban que el color representaba un tono de compromiso, una mezcla del índigo de la noche y el amarillo del Sol. Otros lo atribuían a cristales de hielo en suspensión, y aún otros a causas extrañas como la fluorescencia del ozono o la presencia de burbujas microscópicas. Por su parte, Rayleigh propuso que el azul se debía a la dispersión de la luz del Sol por partículas desconocidas del aire. Aquí también la física se torna espinosa, pero lo importante es que la luz de longitud de onda más corta se dispersa (es decir, redirige) mucho más que la luz de longitud de onda más larga. En particular, la luz azul, que tiene una longitud de onda más corta que casi cualquier otro color del arco iris, se dispersa mucho más fácilmente que la luz roja o anaranjada.

Esta dispersión produce un cielo azul del siguiente modo. Imaginemos que estamos estirados sobre una manta a cielo abierto, mirando cómo pasan las nubes. Entre tanto, llega hasta la Tierra la luz blanca del Sol. En realidad, esta «luz blanca» está compuesta de luz de varios colores, entre ellos el azul, uno junto a otro. Según la teoría de Rayleigh, la probabilidad de que la luz sea dispersada y desviada es mayor para el azul que para cualquier otro color. Ahora bien, tras ser dispersada, esta luz azul puede salir desviada en cualquier dirección. Puede salir disparada a 25 kilómetros al norte de donde estamos. O puede ser redirigida de vuelta al espacio. Pero una parte de la luz azul será redirigida hacia abajo, desde el cielo, hasta nuestra pupila. Naturalmente, también llegará a nuestra pupila algo de luz roja (o amarilla, o verde), pero en cantidad mucho menor que la luz azul. Desde cualquier punto del espacio, el azul predomina. Si multiplicamos este punto singular por billones y billones de puntos más, obtenemos un bonito azul celeste.

(Quienes tengan fresca la teoría de los colores deben estar a punto de saltar. La luz púrpura tiene una longitud de onda aún más corta que la azul, así que según el razonamiento anterior ¡el cielo debería ser violeta! Eso tiene su parte de razón, pero entran en juego otros factores. El Sol emite más luz azul que púrpura, así que hay más luz azul que puede dispersarse. Además, los conos de nuestra retina no pueden detectar tan bien el color púrpura. Por

consiguiente, una explicación completa de por qué el cielo es azul no tiene en cuenta solamente la dispersión que proponía Rayleigh, sino también los circuitos de nuestra visión.)

Rayleigh publicó la mayor parte de esta explicación en 1871, el año que cambió Cambridge por el matrimonio. Sin embargo, había pasado por alto un aspecto crucial: la identidad de las partículas que dispersan la luz del Sol. ¿Se trataba de polvo, de hielo, de flotas de microbios aéreos? Rayleigh sugirió que eran cristales de sal, pero nadie lo sabía de cierto.

El germen de la respuesta apareció por primera vez en una carta que recibió Rayleigh del físico James Clerk Maxwell en 1873. Maxwell se encontraba de vacaciones en el noreste de la India y acababa de pasar una tarde en la terraza de su hotel admirando el Himalaya. Podía incluso vislumbrar el Everest a unos 150 kilómetros de distancia. La claridad del aire lo dejó asombrado, y se preguntó por qué las moléculas de gas que había entre él y el monte Everest no habían absorbido toda la luz. Si Maxwell se hubiera puesto a ello, seguro que habría resuelto el enigma, pues era un físico más que excelente que ya había reescrito la termodinámica y la teoría de la luz, pero no tenía a mano ningún libro de física, y en su carta admitía que se sentía un poco perezoso, de modo que delegó en Rayleigh para que lo investigara.

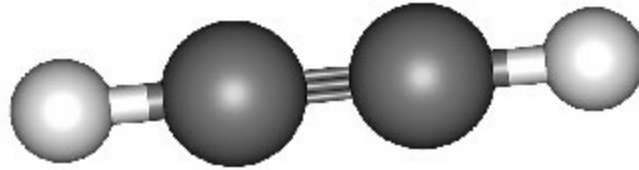
Rayleigh se tomó el encargo con calma; hubo de pasar un cuarto de siglo, y entre tanto Maxwell había muerto. Pero en 1899 Rayleigh por fin realizó los cálculos necesarios y, como corolario de sus investigaciones, descubrió que las moléculas del aire tienen el tamaño perfecto para dispersar la luz visible. Así que al final no se trataba de impurezas como el polvo o la sal o burbujas de nada. «Aunque no hubiera partículas extrañas», declaró Rayleigh, «seguiríamos viendo el cielo azul». Bastaban el nitrógeno, el oxígeno y el argón\* para pintar de azul la bóveda celeste. Y Rayleigh nunca lo habría sabido de no haber sido porque su viejo amigo Maxwell había pasado una tarde ociosa mirando el monte Everest, el punto de la Tierra que más se acerca a tocar el cielo.

Los químicos de la década de 1780 lograron cumplir el que tal vez fuera el sueño más antiguo de la humanidad, cortar las ataduras de la gravedad y alzar el vuelo. Un siglo más tarde, un físico resolvió uno de los misterios más perdurables de la humanidad, por qué el cielo es azul. Así que podemos

perdonar a los científicos porque hacia 1900 tuvieran una concepción bastante elevada de sí mismos, y por suponer que ya tenían una comprensión casi completa de cómo funcionaba el aire. Gracias a los químicos, de Priestley a Ramsay, conocían sus componentes principales. Gracias a la ley de los gases ideales, sabían cómo respondía a casi cualquier cambio de presión o temperatura. Gracias a Charles y Gay-Lussac y otros aeronautas, sabían cómo era el aire a muchos kilómetros por encima de nuestras cabezas. Quedaban, naturalmente, algunos cabos sueltos en campos como la física atómica y la meteorología, pero todo lo que tenían que hacer los científicos era extrapolar a partir de leyes ya conocidas de los gases para explicar todos esos casos. Debieron sentirse dolorosamente cerca de explicar su mundo.

No fue así. Los científicos no solo se encontraron con dificultades a la hora de atar todos aquellos cabos sueltos, sino que, llevados por la desesperación, tuvieron que construir leyes de la naturaleza completamente nuevas para poder explicar lo que observaban. La física atómica, como se sabe, condujo a los absurdos de la mecánica cuántica y a los horrores de la guerra nuclear. Y aunque sea difícil de creer, la meteorología, una de las más adormiladas ramas de la ciencia, suscitó la teoría del caos, una de las corrientes más profundas y perturbadoras del pensamiento del siglo XX.

## Interludio. Las luces de la noche



*Acetileno ( $C_2H_2$ ), actualmente entre 0,0001 y 0,001 partes por millón en el aire (más en áreas urbanas); inhalamos entre 1.000 y 10.000 mil millones de moléculas con cada aliento.*



*Hidrógeno ( $H_2$ ), actualmente 0,55 partes por millón en el aire; inhalamos 7.000 billones de moléculas con cada aliento.*

No podemos dejar atrás los gases nobles sin hablar un poco de su más célebre aplicación, las llamadas luces de neón. Para ser justos, las luces de neón forman parte de una historia mucho más amplia sobre la luz y los gases en general. Y es que mientras que los gases como el vapor ciertamente impulsaron la Revolución industrial, gases como el metano y el acetileno hicieron algo igual de importante: alumbraron la revolución. Un historiador ha llegado incluso a calificar a esos gases que dan luz, junto con el vapor de agua, como «las dos principales fuerzas motrices de la historia».

Para situar todo esto en su contexto, recordemos que la Sociedad Lunar de Joseph Priestley se reunía el lunes más cercano a la luna llena porque sus miembros necesitaban su luz para poder regresar a sus casas. Pero la generación de Priestley fue de las últimas que tuvieron que preocuparse por ese problema. Varios de los gases que descubrieron los científicos a finales del siglo XVIII quemaban emitiendo un sorprendente brillo, y menos de medio siglo después de la muerte de Priestley, en 1804, la iluminación con gases era habitual en toda Europa. La bombilla incandescente de Edison se lleva todos los titulares de la historia, pero fue el gas de hulla lo que primero erradicó la oscuridad del mundo moderno.

Los seres humanos ya tenían luz artificial antes de 1800, de fogatas, velas o lámparas de aceite, pero por muy románticas que hoy nos parezcan, lo cierto es que como fuentes de luz son nefastas. Las velas, en particular, emiten un relumbre débil y flaco que, como bromeaba un historiador, lograba poco más que «hacer visible la oscuridad». (Un dicho francés de la época capta la idea de otra forma: «A la luz de una velita, la cabra parece señorita».) Tampoco podía todo el mundo permitirse candelas un día sí y otro también, como si cada pocas noches tuviéramos que reemplazar las bombillas. Las casonas y los negocios podían gastar hasta 2.500 velas al año. Para colmo de males, las velas soltaban humos perniciosos en el interior de las casas, y era demasiado fácil tumbar una por accidente y quemar la casa o la fábrica.

Visto en retrospectiva, el gas de hulla parece una solución obvia a todos esos problemas. El gas de hulla es una mezcla heterogénea de metano, hidrógeno y otros gases que emite la hulla cuando es calentada lentamente. Tanto el metano como el hidrógeno queman solos con buen brillo, y cuando se queman juntos, producen una luz docenas de veces más fuerte y brillante que la de una vela. Pero como ocurre con el gas de la risa, al principio la gente consideraba el gas de hulla poco más que una curiosidad. Los charlatanes congregaban multitudes en habitaciones oscuras por medio penique por cabeza y los dejaban pasmados con su pirotecnia con el gas. No era solo el brillo lo que los impresionaba. Como no dependían de mechas, las llamas del gas de hulla desafiaban la gravedad y saltaban de lado o boca abajo. Algunos incluso combinaban en su espectáculo llamas distintas para hacer formas de flores o de animales, un poco como quienes hoy hacen animales con globos.

De forma gradual, algunas personas se fueron dando cuenta de que el gas de hulla podría proporcionar una buena iluminación en los interiores. Los chorros de gas quemaban de forma regular y limpia, sin el parpadeo y el humo de las velas, y las lámparas de gas se podían fijar a las paredes, reduciendo así las probabilidades de provocar un incendio. En 1792, un ingeniero excéntrico llamado William Murdoch (el mismo hombre que inventó una locomotora de vapor en la factoría de James Watt, pero este le dijo que la olvidara) instaló el primer sistema de iluminación con gas del mundo en su



casa de Birmingham. Varios de sus vecinos empresarios se quedaron lo bastante impresionados como para instalar iluminación con gas en sus fábricas.

Después de que estos pioneros adoptasen la tecnología, los gobiernos de las ciudades comenzaron a usar gas de hulla para iluminar sus calles y puentes. Las ciudades solían almacenar el gas en el interior de enormes tanques (llamados gasómetros) y lo conducían por medio de tuberías subterráneas, de forma parecida a como se hace hoy. En 1823, Londres ya tenía en sus calles cuarenta mil lámparas de gas, y otras ciudades de Europa siguieron sus pasos. (París no quería que el maldito Londres le usurpara la reputación de ciudad de la luz.) Por primera vez en la historia, los asentamientos humanos habrían sido visibles por la noche desde el espacio.

A continuación les llegó el turno a los edificios públicos, incluidas las estaciones de ferrocarril, las iglesias y, especialmente, los teatros, que probablemente se beneficiasen más que ninguna otra institución. Con más luz a su disposición, los directores teatrales podían posicionar a los actores más lejos en el escenario, lo que permitía mayor profundidad de movimiento. Una tecnología relacionada, la llamada luz de Drummond, que se obtenía quemando cal viva (óxido de calcio) bajo una llama de oxígeno e hidrógeno, proporcionaba una luz todavía más viva y permitió la construcción de los primeros focos. Como ahora el público podía ver mejor a los actores, estos podían pasar con menos maquillaje y gesticular de una manera más realista, menos histriónica.

A mediados del siglo XIX, hasta los pueblos de la Inglaterra rural disponían de conducciones rudimentarias de gas, y la expansión de aquella iluminación barata y regular modificó la sociedad de varias maneras. Las tasas de crimen se redujeron porque los delincuentes y la gente de baja estopa ya no podían ocultarse bajo el manto de la oscuridad. La vida nocturna floreció porque tabernas y restaurantes podían permanecer abiertos hasta más tarde. Las fábricas instauraron turnos de trabajo regulares porque ya no tenían que cerrar sus puertas después de la puesta de sol en el invierno, y algunos empresarios comenzaron a tener sus fábricas en marcha toda la noche para aumentar la producción.

Otro gas proporcionó las primeras luces portátiles. En 1836 un primo de Humphry Davy, Edmund, descubrió el acetileno, una compacta molécula formada por hidrógeno y dos átomos de carbono unidos por un triple enlace. El acetileno se quemaba con una sorprendente ferocidad y no tardó en hallar aplicaciones en farolas, boyas y faros. Algunos emprendedores desarrollaron también unas prácticas lámparas de acetileno portátiles, útiles sobre todo en cuevas y minas subterráneas. Años más tarde, bicicletas y automóviles, entre ellos el Modelo T, usaron faros de acetileno pese a que adolecían de un peculiar efecto secundario. La mayoría de las lámparas y linternas creaban acetileno dejando caer gotas de agua sobre un quebradizo mineral gris llamado carburo de calcio ( $\text{CaC}_2$ ). El acetileno que emitía era inodoro, pero ciertos productos secundarios del proceso apestaban a ajo.

Pese a sus ventajas sobre la luz de las velas, la luz de gas no era una tecnología perfecta. El gas de hulla a veces emitía impurezas como amoníaco o sulfuro que afectaban a la salud. Las intensas llamas consumían mucho oxígeno de la estancia, de modo que la gente salía con dolor de cabeza tras una noche en el teatro. Las tuberías y lámparas podían sufrir pérdidas y producir asfixia. El filósofo Friedrich Schiller es notorio por haber alabado la expansión de las instalaciones de gas como forma rápida e indolora de suicidio, una «aprobación» que no ayudó a mejorar la ya de por sí mancillada reputación de la luz de gas.

A principios del siglo XX la mayoría de las ciudades habían comenzado a cambiar las lámparas de gas por lámparas de bombilla, que no olían mal, no privaban de oxígeno y proporcionaban una luz más intensa. Las bombillas también parecían más modernas, el siguiente paso lógico en una progresión: el gas de hulla ofrecía fuego puro sin madera ni humo, y las bombillas daban luz pura sin llama siquiera.

Aun así, los fabricantes de bombillas no podían olvidar del todo los gases en sus diseños. El filamento del interior de la mayoría de las bombillas está hecho de un fino alambre de metal (a menudo tungsteno). Al pasar electricidad por el metal, este brilla pero también se calienta, y en presencia de oxígeno se produce la combustión del metal. Para eliminar este problema, los fabricantes empezaron a extraer todo el aire de las bombillas, dejando un vacío en su interior. Pero al resolver un problema no hicieron más que crear

otro porque ahora los filamentos de metal caliente se iban evaporando en aquella bajísima presión, dejando ennegrecido el interior de la bombilla. En la actualidad, en la mayoría de las bombillas primero se hace el vacío y luego se rellenan con nitrógeno u otro gas inerte.

Si las bombillas acabaron con las llamas, algunos sistemas modernos de iluminación van un paso más allá y eliminan el filamento. Es el caso de la luz de vapor, que está en la base de las farolas de sodio, que dan luz amarilla. La luz de vapor difiere de la luz de gas del siglo XIX en que esta última implicaba una reacción química: las moléculas de metano e hidrógeno rompían sus enlaces internos, liberando luz y calor, y formaban nuevas sustancias. La luz de vapor no requiere romper enlaces ni formar nuevas sustancias, sino que se hace pasar electricidad por un gas de átomos de sodio para excitarlos. Más específicamente, se excitan los electrones de los átomos de sodio, que comienzan a saltar a niveles superiores de energía desde los que se desploman momentos después. Estos saltos y desplomes liberan fotones de luz, que irradian hacia el exterior y llegan a nuestros ojos, ayudándonos a esquivar el bache.

La luz de neón produce luz por este mismo proceso de excitación de electrones. Para hacer luces de neón se puede usar en realidad cualquiera de los seis gases nobles; todo depende del color que se desee. Basta con llenar un tubo con criptón o xenón o el que sea, pasar por él una corriente eléctrica y protegerse los ojos. Un químico de bajas temperaturas francés llamado Georges Claude vendió el primer letrero de neón publicitario a un barbero de París en 1912, y a este le siguió una valla publicitaria de tejado para anunciar un vermú. Aquello lo llevó a iluminar la entrada de la Ópera de París, y de ahí surgieron otros encargos. Las luces de neón no se popularizaron entonces; de hecho, Claude estuvo a punto de arruinarse en la década de 1920, pero cuando murió en 1960 era un hombre muy, muy rico. Curiosamente, muchos de los primeros ordenadores y calculadoras usaban luces de neón en sus monitores porque requerían menos energía que las bombillas tradicionales y no se sobrecalentaban tan fácilmente.

En los días que precedieron a la iluminación generalizada, la gente a veces llamaba a la luz artificial «luz prestada». Hoy nos parece una expresión pintoresca, como si uno hubiera de robar rayos de la luz del Sol y llevarlos a

hurtadillas hasta la oscuridad. En la actualidad, naturalmente, nos preocupa más *librarnos* de la luz por la noche. Desaprobamos la contaminación lumínica que nos oculta la visión de las estrellas y nos irritan las farolas de las calles cercanas a la ventana de nuestro dormitorio, que nos impiden descansar a gusto. Es un giro de tuerca que habría pasmado a nuestros antepasados: la propia oscuridad se ha convertido en un bien valioso en el mundo moderno.

### III

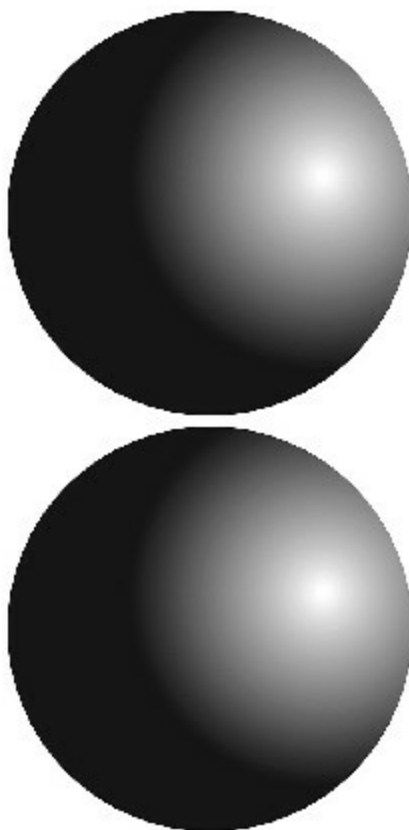
#### FRONTERAS

#### LOS NUEVOS CIELOS

Una persona que viviera en el año 1600 no se habría sentido muy fuera de lugar a principios del siglo XVIII. Incluso a principios del siglo XIX probablemente no se habría sentido tan extraño. Pero si saltamos adelante unos cien años más, hasta principios del siglo XX, se habría quedado atónita. De repente, sobre su cabeza se habían alzado rascacielos, los barcos de vapor habían revolucionado el comercio y el viaje, e incluso la distinción entre noche y día, el más básico principio organizativo de la vida humana, comenzaba a desvanecerse. Los gases habían desempeñado un papel importante en cada uno de estos progresos, demostrando que el aire ha modelado mucho más que nuestra biología básica: ha modelado también nuestra civilización.

Durante las últimas décadas, la relación entre los seres humanos y el aire ha cambiado una vez más. El aire que respiraba nuestro amigo de 1600 no es el mismo que respiramos hoy; el desarrollo industrial ha modificado su composición química. Nuestra concepción mental del aire ha cambiado de forma más drástica incluso: solo en tiempos recientes han comenzado a apreciar los científicos lo intrincada que es realmente la atmósfera, que rivaliza con el cerebro humano tanto por su complejidad como por su fragilidad. Hasta ahora, este libro se ha centrado en cómo la atmósfera ha modificado a los seres humanos. Ahora le damos la vuelta a la perspectiva y nos fijamos en cómo los seres humanos hemos modificado la atmósfera.

## Las repercusiones de la lluvia radiactiva



*Yodo-131 (I) y estroncio-90 (Sr), actualmente cero partes por millón en el aire (¡con suerte!).*

Ya era bastante raro ver una cerda nadando en el Pacífico Sur, pero para los marineros que la encontraron en la laguna el encuentro fue aún más surrealista, habida cuenta de que acababan de arrasarlo con una bomba atómica.

A diferencia del ultrasecreto Proyecto Manhattan, los militares estadounidenses llevaban meses alardeando de la Operación Encrucijada (*Crossroads*), que se llevó a cabo en julio de 1946 con un coste de 100 millones de dólares (1.200 millones de dólares actuales). La Operación Encrucijada fue el mayor experimento científico de la historia hasta el momento, aunque lo cierto es que «experimento» implica cierto nivel de refinamiento que aquí faltó. La marina básicamente planeó soltar una bomba atómica sobre una flota de noventa navíos para ver qué diablos pasaba. Aun así, la operación requirió de la coordinación de 42.000 marineros, además de 25.000 detectores de radiación y casi 500 kilómetros de cinta de vídeo (la

mitad de la que había en todo el mundo en aquel momento) para grabar los datos. El lugar escogido fue el atolón Bikini, un anillo de islas de coral a 400 kilómetros al suroeste de Hawái. El paraíso.

La marina había capturado el año anterior, en Alemania y Japón, varios de los buques que entonces les sirvieron de diana, entre ellos el odiado *Nagato*, el buque de mando durante el ataque a Pearl Harbour. De forma un tanto controvertida, la flota diana incluía también buques americanos que habían luchado en campañas importantes, como el USS *New York* y el USS *Pennsylvania*. (Se retiraron las campanas y los juegos de té de cada barco, que tenían valor sentimental; se dejaron, en cambio, las fotos de *pin-ups*.) Respondiendo al clamor popular, el Congreso intervino y limitó el número de navíos americanos a treinta y tres, pero la flota de buques de guerra, acorazados y submarinos en la laguna del atolón Bikini todavía habría constituido la quinta armada más grande del mundo.

En la primavera de 1946 se desató una nueva polémica. En primer lugar, los militares americanos desalojaron de Bikini a sus 167 habitantes nativos y los trasladaron a otro lugar. El gobernador militar de la isla tuvo la desfachatez de calificarlos de afortunados y compararlos con los israelitas liberados de la esclavitud en Egipto y camino de la tierra prometida. (Habría que preguntarse entonces quién era Moisés...) En segundo lugar, siguiendo el tema bíblico, la marina llevó a Bikini toda un arca de Noé de animales que distribuyó entre los buques diana para evaluar los efectos biológicos de las bombas atómicas. Tras anunciar su intención, las oficinas gubernamentales de Estados Unidos recibieron una avalancha de cartas, e incluso noventa personas se ofrecieron voluntarias para ocupar el lugar de los animales, entre ellas el escritor E. B. White y un prisionero de San Quintín que decía que, para variar, deseaba hacer un bien por la sociedad. (Algunos individuos menos caritativos sugirieron usar prisioneros de guerra antes que animales. En lugar de *Eichmann en Jerusalén* ahora tendríamos *Eichmann en Bikini*, que no evoca precisamente la misma imagen.)<sup>1</sup> La marina accedió a no usar perros, pero importó 5.000 ratas, 204 cabras y 200 cerdos, además de otros animales. Para hacer el experimento más realista, el día antes del ensayo los científicos vistieron los animales de mayor tamaño con uniformes militares y les cortaron el pelo a una longitud más propia de los humanos. Se eligió a los cerdos

porque sus órganos se asemejan a los nuestros, en tanto que algunas de las cabras se sometieron primero a un condicionamiento\* para hacerlas más propensas a ataques de nervios, lo que supuestamente había de ayudar a determinar los efectos psicológicos de la guerra nuclear.



*Cabras y ratas expuestas a la lluvia radiactiva y la radiación durante la Operación Encrucijada. (Fotografía por gentileza de Getty Images.)*

El gran experimento comenzó a las nueve en punto de la mañana del 1 de julio de 1946. Unos minutos antes, las cubiertas de los buques de apoyo, a las afueras del atolón, comenzaron a llenarse con miles de marineros. Los oficiales les ordenaron no mirar la explosión, pero por supuesto todos lo hicieron, los más listos con un solo ojo, por si acaso. Aquella mañana corría el chiste de que si la bomba arrasaba completamente Bikini, siempre podrían cambiarle el nombre por el de Nothing Atoll.<sup>2</sup> No obstante, la mayoría de los hombres estaban nerviosos: en los once meses que habían transcurrido desde Nagasaki no se había detonado ningún arma atómica, y la Bomba había adquirido un aura casi sobrenatural en el imaginario popular.

A los marineros se les encogió el estómago cuando sobre sus cabezas apareció un bombardero B-29, *Dave's Dream*. En su vientre llevaba la bomba, que los aviadores habían bautizado «Gilda», por el papel interpretado por el bombón Rita Hayworth en una película reciente. (Oficialmente, la bomba se llama *Able*, por la A.) El objetivo de la bomba, el USS *Nevada*, se encontraba



a 3,5 millas de la costa de Bikini, entre media docena de buques más. La marina había pintado el *Nevada* de color naranja peligro para que fuese fácil de ver. Aun así, los bombarderos fallaron. Gilda detonó a 160 metros sobre el agua, como debía, pero cayó a unos 650 metros al noroeste del *Nevada*, cerca de un portaaviones.

El pecho de Gilda explotó con el equivalente de veinte mil toneladas de TNT. Los ciclópeos marinos vieron un destello de luz y sintieron calor en las mejillas; el estruendo de la explosión tardó dos minutos en alcanzarlos. Los animales de los buques no gozaron de la misma advertencia. La bomba vaporizó todo lo que había en los alrededores inmediatos y envió una onda de choque a 16.000 kilómetros por hora. Muchos de los animales murieron por la fuerza del impacto, y cinco de los navíos situados a menos de 900 metros del «punto cero» comenzaron a hundirse. Todos los animales de aquellos barcos quedaron atrapados y se ahogaron. Menos uno.

El cerdo 311 (el número que llevaba en la etiqueta de la oreja), en realidad una hembra, había sido vestida de uniforme y encerrada en el lavabo de oficiales a bordo del crucero japonés *Sagawa*, a unos 380 metros del punto cero. Tras la explosión, parecía que un gigante hubiera aplastado el *Sagawa* con el talón de su bota; además, abrió un agujero en su costado y el *Sagawa* comenzó a hundirse. Sin embargo, de algún modo tras la explosión se abrió la puerta del retrete, la cerda 311 quedó desnuda de uniforme y consiguió no acabar ensartada y asada a su paso por la cubierta hasta sumergirse en la laguna. Un bote patrulla enviado a la mañana siguiente para examinar con asombro los daños que se habían producido (¿quién teme a la lluvia radiactiva?) la encontró chapoteando en el agua, nadando como podía para alcanzar la orilla. Tenía seis meses de edad, era blanca con manchas negras y pesaba 22 kilos.

Pese al milagroso rescate, los veterinarios no daban nada por la vida de 311. Comenzó a perder peso y se le cayó el pelo. Y lo que es peor, su recuento de células sanguíneas comenzó a caer porque la radiación mata a las células de la médula ósea responsables de producir nuevas células de la sangre. Basándose en los síntomas de otros animales expuestos a la radiación, su estómago y cerebro probablemente comenzarían a hincharse y su hígado a atrofiarse, el cuadro completo de un síndrome de irradiación aguda. Pero de

algún modo, durante las semanas siguientes se fue estabilizando. Le volvió a crecer el pelo y su recuento sanguíneo se estabilizó y luego comenzó a crecer. Al poco tiempo empezó a ganar peso y otros signos vitales se recuperaron. No tardó en recobrar un aspecto normal.

Los militares, como es natural, estaban encantados con su recuperación. Los oficiales estaban deseosos de rebajar la amenaza que suponían las armas nucleares, y en cuanto la cerda 311 recobró su peso y vitalidad, comenzaron a promocionarla como heroína popular, la pequeña cerdita que había desafiado a la bomba grande y mala. El público se tragó el anzuelo y hasta el sedal y la caña. La revista *Life* publicó una serie de fotografías, y un columnista sindicado la declaró «símbolo de la mente sobre la materia y del cerdo sobre ambas». Pronto se ganó una preciada porqueriza en el Zoo Nacional de Washington, D.C., donde visitantes de todo el país hacían cola para verla. Toda una cerda.

La propaganda sobre el Cerdo 311 (*¿pro-pig-anda?*)<sup>3</sup> tenía un propósito fundamental: tranquilizar al público sobre la seguridad de las armas nucleares. En buena medida, funcionó. Es verdad que cuando hoy echamos la vista atrás a la era nuclear, no podemos evitar pensar en la leche radiactiva y los niños corriendo a esconderse bajo las mesas. Pero nuestro pavor nuclear no se produjo de inmediato; de hecho, durante las décadas de 1940 y principios de la de 1950, muchos le quitaban hierro a las armas nucleares, incluso bromeaban con ellas. Tal vez en lugar de pensar en Hiroshima y Nagasaki estuvieran pensando en la Operación Encrucijada y el Cerdo 311. Si una cerdita podía sobrevivir a la bomba atómica, no podía ser tan mala.

Esta complacencia encajaba a la perfección con el objetivo del gobierno de Estados Unidos de hacer tantas pruebas con armas nucleares como pudieran. Los militares consiguieron realizar hasta doscientas pruebas en las dos décadas siguientes, y aún hoy vivimos con las consecuencias: incluso sesenta años después, todavía inhalamos algunos de los átomos radiactivos que nacieron de aquellas bombas.

El Proyecto Manhattan no fue tanto un avance científico\* como un triunfo tecnológico. Toda la física esencial ya se había desarrollado antes incluso de que estallara la guerra, y los esfuerzos verdaderamente heroicos no se hicieron con pizarras y eureka, sino con músculo y extenuante trabajo. Pensemos si no

en el enriquecimiento de uranio. Entre otros pasos, los trabajadores tenían que convertir más de 9.000 kilogramos de mena de uranio en un gas (hexafluoruro de uranio) y luego reducirlo, casi átomo a átomo, a apenas 50 kilos de uranio-235, que es la forma fisionable. Esta proeza requería construir una planta de 500 millones de dólares (6.600 millones de dólares actuales) en Oak Ridge (Tennessee), que se extendía sobre 18 hectáreas y usaba tres veces tanta electricidad como todo Detroit. Toda aquella estupenda teoría no habría servido de nada de no haber sido por aquella inversión sin precedentes.

El plutonio tampoco era un pícnic a la fresca. Hacer plutonio (que no existe en la naturaleza) resultó ser tan difícil y costoso como enriquecer uranio. Y detonarlo supuso un problema aún mayor. Aunque el plutonio es bastante radiactivo (basta con inhalar una décima parte de un gramo para matar a un adulto), la pequeña cantidad de plutonio con la que trabajaban los científicos de Los Álamos no podía iniciar una reacción en cadena ni, por tanto, explotar, si no se incrementaba su densidad de forma drástica. Como el metal de plutonio ya es denso de por sí, la única manera plausible de hacerlo era comprimiéndolo con la ayuda de un anillo de explosivos. Lamentablemente, aunque es fácil destrozar algo con explosivos, es casi imposible colapsarlo en una forma de menor tamaño con una forma coherente. Los científicos de Los Álamos pasaron muchas horas gritándose los unos a los otros acerca de los detalles.

En la primavera de 1945 por fin lograron esbozar un plan plausible para los explosivos. Pero primero había que cerciorarse de que la idea funcionaba, así que organizaron la famosa prueba de Trinity para el 16 de julio de 1945. La responsabilidad de armar el dispositivo (que recibió el sobrenombre de Gadget) recayó en Louis Slotin, un joven físico canadiense con fama de temerario (ideal para trabajar con la bomba). Después de ascender la torre de treinta metros de Trinity y ensamblar la bomba, Slotin y sus jefes aceptaron por ella un recibo de 2.000 millones de dólares y condujeron hasta el campo base, a 16 kilómetros de distancia, para presenciar la prueba.

A las 5:30 de la mañana estalló el anillo de explosivos, que comprimió el núcleo de plutonio de Gadget del tamaño de un pomelo a una bola del tamaño de un hueso de melocotón. En su interior había una bolita de berilio mezclado con polonio que produjo unas pocas partículas subatómicas llamadas

neutrones, que son las que realmente pusieron todo en marcha. Estos neutrones se unieron a átomos cercanos de plutonio, haciéndolos inestables y provocando su fisión, su escisión. Esta escisión liberó una gran cantidad de energía: la producida por un solo átomo de plutonio bastaría para hacer saltar un grano de arena pese a que un átomo de plutonio es cien trillones de veces más pequeño. Pero lo más importante es que cada escisión volvía a producir neutrones, que a su vez se unían a otros átomos de plutonio, tornándolos inestables y causando nuevas fisiones.

En apenas unas pocas millonésimas de segundo habían fisionado ochenta generaciones de átomos de plutonio, liberando una cantidad de energía equivalente a 23 millones de kilogramos de TNT. Lo que ocurrió a continuación es más complicado, pero toda aquella energía vaporizó todo lo que había en su entorno inmediato, desde la torre de metal y la arena del suelo hasta los lagartos y escorpiones. De hecho, hizo más que vaporizarlos. La temperatura cerca del núcleo alcanzó un pico tan alto, de decenas de millones de grados, que los electrones del interior del vapor se separaron de sus átomos y comenzaron a vagar a sus anchas, como luciérnagas. Esto produjo un nuevo estado de la materia conocido como plasma, una especie de supergás más propio del interior de los hornos nucleares de las estrellas.

A la vista de las increíbles energías implicadas, incluso científicos sobrios como Robert Oppenheimer (el director del Proyecto Manhattan) habían considerado seriamente la posibilidad de que Trinity provocara la ignición de toda la atmósfera y acabara friéndolo todo sobre la superficie de la Tierra. Eso no ocurrió, como es sabido, pero cada uno de los varios centenares de hombres presentes aquella mañana (algunos de los cuales se untaron la cara de protector solar y se protegieron los ojos tras unas gafas de sol) supieron al momento que habían desatado un nuevo tipo de infierno sobre el mundo. Una vez se calmó Trinity, Oppenheimer, en un momento memorable, recordó un verso del *Bhagavad Gita*: «Ahora devengo Muerte, el destructor de mundos». Menos memorable es el momento en que Oppenheimer recordó algo pronunciado por Alfred Nobel en alguna ocasión sobre cómo la dinamita haría de la guerra algo tan horrendo que sin duda la humanidad renunciaría a ella. Qué cándido parecía ahora ese deseo, a la sombra del hongo de la bomba atómica.

Tras los ataques a Hiroshima y Nagasaki a principios de agosto, la mayor parte de los científicos del Proyecto Manhattan se sintieron embargados por un sentimiento de triunfo. Durante los meses siguientes, sin embargo, las historias que fueron saliendo a la luz sobre Japón los dejaron con una creciente sensación de repulsión. Obviamente sabían que sus bombas, prodigios de la ingeniería, acabarían con la vida de miles de personas, pero los militares ya habían matado un número de civiles comparable con sus bombardeos en Dresde y Tokio con bombas incendiarias. (Algunos historiadores estiman que murieron más seres humanos durante las seis horas de ataque a Tokio con bombas incendiarias, al menos 100.000, que en cualquier otro ataque de la historia, entonces o ahora.)

Lo que consternó a la mayoría de los científicos sobre Hiroshima y Nagasaki no fue, pues, el recuento inmediato de cadáveres sino la persistencia de la radiactividad. Con anterioridad, la mayoría de los físicos manifestaban una actitud más bien chulesca hacia la radiactividad, y abundan las historias sobre su jactancioso desdén\* hacia los peligros que suponía. Japón cambió todo eso. La lluvia radiactiva de la bomba siguió envenenando a la población durante meses, matando sus células, ulcerando su piel, convirtiendo incluso la sal de su sangre y los empastes de sus dientes en minúsculas bombas radiactivas.

Al cabo de un tiempo, el general Douglas MacArthur, el gobernador militar de Japón, decidió declarar la censura de los medios de comunicación sobre los efectos secundarios de la bomba. Pero MacArthur no podía suprimir los rumores, sobre todo dentro de la comunidad científica. Quienes explicaban estas historias no tenían necesidad de exagerar: la realidad era así de nefasta. (Un médico americano recordaba haber entrado en un puesto de socorro semanas más tarde y haberse preguntado por qué todos los pacientes japoneses llevaban camisetas con lunares. Entonces los lunares comenzaron moverse. A las víctimas ni siquiera les quedaba fuerza suficiente para espantar los insectos que les comían la piel.) Una serie de accidentes silenciados en Los Álamos en 1945 y 1946 manifestaron de forma aún más aguda los peligros de la radiactividad, pues los científicos pudieron ver la destrucción de primera mano.

Los accidentes comenzaron con Harry Daghlian, un rollizo físico que se había unido al MIT a los diecisiete años de edad y había llegado a Los Álamos seis años más tarde, en 1944. Trabajaba en experimentos de criticalidad, lo que implicaba iniciar reacciones en cadena en esferas de plutonio en el laboratorio. Estos experimentos no podían llegar a detonar el plutonio, puesto que las esferas no eran lo suficientemente densas, pero tampoco es que fuera a aprobarlos ninguna agencia de seguridad en el trabajo. Los científicos de Los Álamos decían de estas investigaciones que era como «hacerle cosquillas a la cola de un dragón dormido», y se llevaban a cabo en un remoto cañón a unos seis kilómetros de las instalaciones principales de Los Álamos, en un lugar conocido como Sitio Omega.

Daghlian trabajó con una esfera de plutonio de 9 centímetros idéntica a los núcleos de las bombas de Trinity y Nagasaki. De hecho, su esfera (apodada «Rufus») habría acabado en el interior de una bomba alrededor del 20 de agosto si Japón no se hubiera rendido poniendo fin a la guerra. Ahora, una vez acabada la contienda, uno podría pensar que Daghlian ya no tendría nada que hacer; al fin y al cabo, el objetivo del Proyecto Manhattan era la victoria sobre Alemania y Japón, y ya se había cumplido. Sin embargo, la carga de trabajo de algunos de los investigadores de Los Álamos apenas se vio aliviada. El gobierno de Estados Unidos había gastado cientos de millones de dólares en las armas nucleares y no quería echar a perder su inversión. Y lo que es más importante, ya había comenzado la pelea por el poder tras la guerra, y varias figuras clave del gobierno consideraban que las bombas nucleares, y sobre todo la bomba de plutonio, eran esenciales para la seguridad nacional a largo plazo.

Así pues, el 21 de agosto, menos de una semana después de finalizar la guerra, Daghlian empezó a hacerle una nueva serie de cosquillas a la cola del dragón en el edificio Omega. Para usar la terminología del laboratorio, estas pruebas requerían la creación de un «nido» de bloques alrededor de un «huevo» de plutonio. Los bloques estaban hechos de un material especial llamado carburo de tungsteno que refleja muy bien los neutrones (que por lo demás atraviesan la mayoría de los materiales). Al apilar los bloques alrededor de la esfera, Daghlian se aseguraba de que cualquier neutrón que se escapase fuese reflejado de vuelta a la masa de plutonio para seguir

participando en las fisiones. En la práctica, esto habría de servir para reducir la cantidad de plutonio necesaria para sustentar una reacción en cadena. Daghlian completó una de estas pruebas por la mañana y otra por la tarde, y luego, por la noche, asistió a un coloquio. Pero al acabar este, hacia las nueve de la noche, regresó a Omega para hacer un último ensayo. Trabajar solo como pretendía estaba prohibido, y Daghlian ya había trabajado un largo día, pero Los Álamos era bastante informal por aquel entonces y Daghlian era un tipo afable, de modo que el guardia de seguridad le permitió el paso.

Primero introdujo la esfera de seis kilos en un armazón. Aparte de ser radiactivo, el plutonio es tóxico, casi tan malo como el arsénico, de modo que la esfera estaba revestida de níquel para hacerla «segura» para manipularla con las manos. Los científicos la recuerdan inquietantemente caliente a causa de la radiactividad que ardía en su interior. Uno comparó la experiencia con la de sostener un conejo vivo.

Con el huevo en su sitio, Daghlian comenzó a ensamblar el nido de 52 reflectores de carburo de tungsteno. Con cada capa eran más los neutrones que rebotaban de vuelta al núcleo de plutonio, acercándolo más a la criticalidad. Cuando ya había montado cuatro capas y la mayor parte de la quinta, cogió un último bloque y lo sostuvo sobre la esfera. Al hacerlo, un altavoz situado a su lado, sobre una poyata, comenzó a chisporrotear. Estaba conectado a un detector de radiación, y el chisporroteo significaba que la adición de un nuevo bloque podría iniciar una reacción en cadena. Daghlian comenzó a mover el bloque adelante y atrás, jugueteando. Satisfecho con aquella cháchara, se apartó, pero justo entonces el bloque se le escapó de las manos y fue a caer donde le tocaba, bloqueando la única escapatoria que les quedaba a los neutrones. En la jerga del laboratorio, la esfera se tornó «crítica superdeprisa». O, más brutalmente, el dragón Rufus abrió los ojos.

El *staccato* del altavoz creció hasta convertirse en un estruendo y una aurora de luz azul comenzó a danzar alrededor de la esfera a medida que se ionizaba el nitrógeno del aire. Daghlian intentó desmontar el castillo de bloques con sus manos, fracasó, lo intentó de nuevo, y por fin lo consiguió. Todo se quedó en silencio. La aurora se desvaneció y el altavoz se calló. No

sonó ninguna alarma. Y aparte de un cosquilleo en la mano, Daghlian se sintió bien: a diferencia de un veneno convencional, la radiactividad no causa ningún dolor al principio. Pero Daghlian estaba condenado a morir, y lo sabía.

Fue al hospital de todos modos. Los médicos le quitaron unas llaves y un cuchillo que llevaba en el bolsillo y le pidieron a una técnica de Los Álamos que los analizase. Así lo hizo, y descubrió que saturaba los contadores Geiger de lo «calientes» que estaban. Los físicos estimarían más tarde que su cuerpo había sido acribillado con el equivalente de 50.000 placas de rayos X. Su mano derecha se acercó a 400.000. Durante los días siguientes se convirtió en una ampolla gigante. Su brazo derecho también se inflamó, y la piel se le enrojeció y peló hasta la altura del hombro, al igual que la de la cara. (En esencia, estaba sufriendo una especie de «quemadura de sol tridimensional», tan profundamente había entrado la radiación en su cuerpo.) Entre tanto, era vapuleado por tsunamis de náuseas y aguijoneado por calambres y ataques de hipo. Por fortuna, entró en coma a las pocas semanas y a los veinticinco días del accidente falleció. Las autoridades militares mintieron a la prensa y dijeron que Daghlian había sucumbido a «quemaduras químicas». Luego le extendieron un cheque por 10.000 dólares a la hermana y la madre de Daghlian para acallarlas.

Acompañando a Daghlian durante toda aquella tortura estuvo Louis Slotin, el científico que había ensamblado la bomba para la prueba de Trinity. Ver morir a Daghlian conmovió a Slotin, quien se reafirmó en su reciente decisión de abandonar la investigación sobre armamento. Por desgracia, a Slotin todavía le quedaba un año de contrato con los militares. Y aún más desgraciadamente, no aprendió nada del accidente de Daghlian sobre la necesidad de ser más cuidadoso.

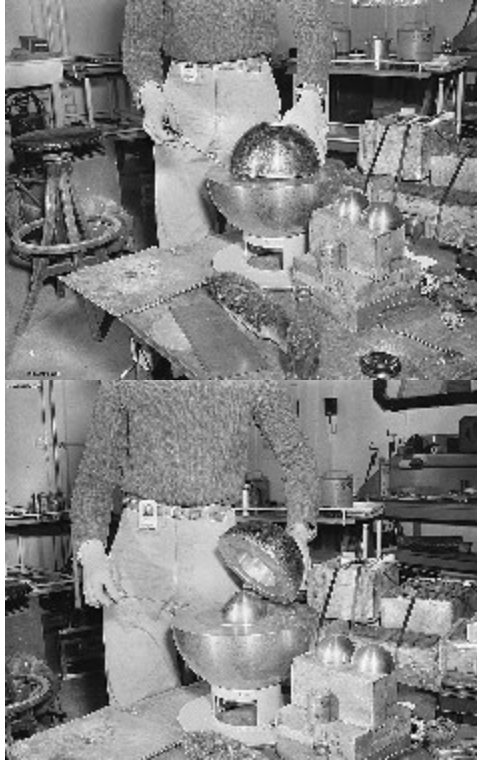
Slotin tenía solo dieciséis años cuando ingresó en una universidad en Winnipeg, más joven aún que Daghlian en el momento de su ingreso. Allí se aficionó al boxeo, quizá para adquirir una presencia más dura, y adoptó un estilo de vestir igual de masculino: vaqueros, botas camperas y camisa desabotonada. Al acabar la universidad se fue de viaje a España y a su vuelta le gustaba dar a entender (lo más seguro es que falsamente) que allí había participado en la guerra civil. Finalmente consiguió un trabajo en la construcción de ciclotrones en Chicago, y luego fue captado para la



investigación sobre el plutonio. En diciembre de 1944 llegó a Los Álamos e inmediatamente quiso hacerle cosquillas al dragón. Los otros del grupo lo acogieron con gusto, pero incluso entre aquellos temerarios, Slotin se ganó la reputación de insensato. En una ocasión en que necesitaba hacer unos ajustes a una reacción nuclear que se estaba produciendo dentro de un tanque de agua, le pidió al equipo de mantenimiento que parase los equipos. Pero era un viernes por la tarde, y los encargados le dijeron que esperase a la vuelta del fin de semana. Cuando regresaron el lunes, los cambios ya estaban hechos. ¿Había parado Slotin los equipos? No, simplemente se había quitado los vaqueros y las camperas y había buceado en el tanque mientras el reactor seguía en marcha.

Slotin disfrutó dejando pasmada a su familia cuando les reveló su papel en la construcción de las bombas de Hiroshima y Nagasaki. Sin embargo, no tardó en sentirse desilusionado con sus investigaciones sobre armamento, y tras la muerte de Daghlian solicitó regresar a Chicago. Los militares le respondieron que primero tenía que armar las bombas para las pruebas de Bikini. Slotin cedió, y también accedió a entrenar a su sustituto en Los Álamos, un hombre llamado Alvin Graves.

Las sesiones de entrenamiento comenzaron y acabaron el 21 de mayo de 1946 con una demostración que Slotin ya había hecho antes al menos unas cuarenta veces. Primero cogió a Rufus (la misma esfera de plutonio que Daghlian había utilizado) y la introdujo en el armazón. Ahora tenía que colocar los reflectores de neutrones. Pero en lugar de usar bloques de carburo de tungsteno, Slotin cogió una carcasa semiesférica de berilio, un reflector más potente. De hecho, el berilio reflejaba los neutrones tan bien (prácticamente jugaba a pimpón con ellos) que la mayoría de los científicos tomaban precauciones adicionales cuando usaban aquellas carcasas. En particular, sabían que si se dejaba caer de golpe la carcasa sobre la esfera de plutonio, se provocaba de inmediato una reacción en cadena, de modo que habían añadido una salvaguarda: primero colocaban tarugos de madera alrededor del perímetro de la esfera y luego ponían la carcasa de berilio sobre los tarugos, que retiraban uno a uno a medida que avanzaba el experimento. De este modo podían ir bajando la carcasa poco a poco, controlando el progreso hacia la criticalidad.



*Recreación del accidente que acabó con la vida de Louis Slotin después del Proyecto Manhattan. (Fotografía por gentileza de Los Alamos National Laboratory.)*

Slotin, sin embargo, no se entretenía con tantas precauciones, sino que se limitaba a apoyar un canto de la carcasa sobre el armazón, en alegre equilibrio en ángulo sobre Rufus, y luego usaba un destornillador para mover el otro extremo arriba y abajo, como un yoyó, hacia el umbral de una reacción crítica. En una ocasión en que lo vio haciendo esto, Enrico Fermi lo reprendió y le dijo que estaría «muerto en menos de un año» si no abandonaba esa costumbre. Slotin se encogió de hombros.

Aquella tarde Slotin montó la demostración en un par de minutos y comenzó a mover el hemisferio arriba y abajo. A su lado, un altavoz ametrallaba sus clics. Graves, que miraba por encima de los hombros de Slotin, estaba impresionado. Sin embargo, un momento más tarde ocurrió algo; el destornillador se le escapó de las manos y la carcasa de berilio cayó de golpe sobre el plutonio. Los ocho hombres que había en la habitación sintieron un pulso de calor y vieron un halo de luz azul.

Slotin apartó el hemisferio con la mano, y un segundo más tarde sentía en ella un cosquilleo y un regusto metálico le inundaba la boca. En cuanto recobró el aliento, sintió la misma extraña serenidad que había sentido Daghlian: sabía que estaba sentenciado, pero por el momento se sentía normal. Dio un paso atrás y dijo, simplemente: «Bueno, ya está hecho».

En ese momento, la principal preocupación de Slotin eran los otros hombres que había en la estancia, especialmente Graves. Antes de salir hacia el hospital, intentó estimar la dosis de radiación que había absorbido cada uno usando para ello un detector sobre algunos de los objetos que había alrededor de Rufus, entre ellos un martillo y una botella de Coca-Cola. Lamentablemente, el propio detector estaba tan contaminado que daba lecturas inservibles. Como último recurso, Slotin paró junto a la mesa de una mujer «calculadora» (una mujer contratada para hacer cálculos) y le pidió que estimara la dosis para alguien que estuviera a la distancia a la que se encontraba Graves. (Según estimaciones actuales, Slotin absorbió el equivalente de 200.000 placas de rayos X; Graves «solo» 35.000 porque el cuerpo de Slotin lo había amparado.) Para colmo, quizá porque estaba aturdido o porque no la conocía, la computadora a la que pidió que hiciera los cálculos resultó ser la esposa de Graves, Elizabeth, que aún tardó horas en conocer el motivo de sus cálculos.

Slotin había estado trabajando con el mismo núcleo de plutonio que había usado Daghlian. Su accidente ocurrió el mismo día del mes que el de Daghlian, el 21, y también fue un martes. Y cuando Slotin llegó al hospital, los médicos lo pusieron en la misma cama y la misma habitación, y vieron cómo fallecía como la misma agonía mientras su cuerpo básicamente se desintegraba. Nueve días más tarde enviaron el cadáver de Slotin a su casa en Winnipeg en un féretro revestido de plomo.

La doble muerte de Daghlian y, especialmente, Slotin («el más experto ensamblador de bombas del mundo»), como gustaba de alardear) sacudió el mundo de la física nuclear y abrió una brecha en esa comunidad. Algunos físicos ya se sentían culpables por lo que habían provocado con la bomba atómica, y ahora que morían algunos de sus colegas su remordimiento se endureció hasta convertirse en franca oposición a las armas nucleares. Otros científicos, sin embargo, no pensaban igual. La inminente guerra fría les

parecía de una magnitud muchísimo mayor que la vida de cualquier hombre. Era la propia civilización lo que estaba en juego, de modo que en la muerte de un compañero no veían otra cosa que un valiente sacrificio. Estos halcones no tardarían en incluir en sus filas al hombre que miraba por encima de los hombros de Slotin el día del accidente, Alvin Graves.

Después de que matase a Slotin y a Daghlian, los científicos dejaron de llamar Rufus a aquella esfera maldita de plutonio y comenzaron a llamarla «núcleo del demonio». Hoy nos parece desconsiderado, si no demencial, seguir usando el mismo demonio en más experimentos, pero el plutonio era entonces la sustancia más valiosa de la Tierra, y los militares no estaban dispuestos a desperdiciar millones de dólares, de modo que poco después de la muerte de Slotin, el núcleo del demonio se llevó en avión al Pacífico Sur y acabó en el interior de una de las bombas de la Operación Encrucijada.

\*

Por increíble que parezca, la intención original de los militares de Estados Unidos era vaporizar unas cuantas de las islas Galápagos con las bombas de la Operación Encrucijada, pero finalmente se decidieron por Bikini pese al espacio limitado, el frágil ecosistema y (mal augurio) sus impredecibles vientos.



*El ensayo con Baker en el atolón Bikini, 25 de julio de 1946. (Fotografía por gentileza del Departamento de Defensa de EE.UU.)*

El ensayo con Gilda/Able del 1 de julio fue la cuarta explosión de una bomba atómica de la historia; la quinta se produjo tres semanas más tarde, durante el ensayo con la bomba Baker del 25 de julio. (La bomba con el

núcleo del demonio habría sido la sexta, pero los militares decidieron cancelar la prueba y de forma poco ceremoniosa fundir el núcleo y reciclar el plutonio para usarlo en otras bombas.) La bomba Baker, apodada Helen de Bikini, se ahorró el drama de la predetonación, pues en lugar de soltarla desde un avión se hizo explotar en el agua a 27 metros de profundidad con el objetivo de simular un ataque furtivo contra una flota. Sin embargo, los efectos especiales posdetonación compensaron la falta de drama. A los diez milisegundos, el centro de la laguna se encendió como un diamante refulgente y 85 millones de litros de agua se vaporizaron. ( James Watt habría alucinado.) Además, 7,5 millones de litros se alzaron en el chorro de la más gigantesca fuente que el mundo haya presenciado, con 600 metros de anchura y 1.800 metros de altura. Nueve de los barcos se hundieron de inmediato, matando más cerdos y cabras y ratas. La flota que sobrevivió quedó empapada en lo que un estudio llamó «pócima de bruja» de agua radiactiva.

Pese a la pócima, la marina intentó recuperar los barcos que habían quedado, así como lo animales que hubieran sobrevivido. ¿Cómo? Enviando a miles de marineros a lavar las cubiertas. Un buen fregado con cal viva, pensaron los almirantes, y una nueva capa de pintura bastarían para acabar con toda aquella molesta radiactividad. Cuando su plan fracasó (los contadores Geiger de a bordo no dejaron de chisporrotear) los almirantes se quedaron asombrados. ¿La radiactividad realmente podía resistir a la cal viva? Al final, la marina admitió la derrota y abandonó o vendió como chatarra sesenta de los noventa navíos. (Varios de ellos siguen hundidos en la laguna aún hoy, donde se han convertido en un paraíso submarino para pulpos, peces y buceadores.) Aún más preocupante era el hecho de que después de sacar los animales, la marina comenzara a observar entre ellos un creciente número de problemas de salud: sufrían la misma fatiga y pérdida de peso y bajo recuento sanguíneo que el Cerdo 311, solo que no mejoraban.

En su mayor parte, el público seguía sin saber nada sobre estos problemas a largo plazo. La mayoría de los corresponsales se fueron de Bikini después de que explotaran las bombas y, por lo general, en sus comunicados le quitaron hierro a la amenaza que suponían las bombas atómicas. Como ya se ha mencionado, las bombas nucleares habían adquirido poderes casi mitológicos en la mente de la gente desde Hiroshima y Nagasaki. A principios

de 1946, científicos militares tuvieron incluso que hacer declaraciones tranquilizadoras aclarando que, pese a los rumores que circulaban, las pruebas de Bikini no podían «destruir la gravedad» o «hacer saltar el fondo del océano, permitiendo que el agua se vaya por el agujero». Así que cuando Gilda y Helen no trajeron el apocalipsis (y, de hecho, dejaron varios barcos a flote en la laguna), algunos periodistas se mofaron y comenzaron a menospreciar las bombas atómicas, burlándose de que estaban «claramente sobrevaloradas». (Un locutor de radio anunció que había hecho una grabación clandestina de la explosión de Gilda para a continuación emitir un ridículo cacareo de gallina.) Pocos hicieron un seguimiento o consideraron la posibilidad de que el auténtico peligro fuese invisible.

Al adoptar esta postura, los periodistas también le estaban diciendo al público lo que este quería oír. Llámese cobardía, llámese naturaleza humana, pero después de varios millones de muertes y cuarenta y cuatro meses de enfrentamientos metro a metro en dos continentes, y para colmo un año más de historias históricas sobre la bomba, la mayoría de la gente solo quería seguir con sus vidas, olvidarse de las continuas tensiones. El anticlímax de Bikini les permitió incluso reírse un poco. La gente organizaba fiestas con pasteles de bizcocho en forma de hongo atómico. Los clubes nocturnos alardeaban de las «bombas anatómicas» que eran sus bailarinas. Y los diseñadores franceses, *naturellement*, lanzaron un traje de baño de dos piezas tan compacto y peligroso, decían con un guiño, como las bombas de Bikini.

Esta apatía permitió al gobierno de Estados Unidos seguir realizando ensayos nucleares, un programa que se aceleró a partir de 1949, después de que la Unión Soviética detonara su primera bomba atómica. Los sitios de prueba americanos iban casi de mar a mar esplendente, al noroeste hasta las islas Aleutianas y al sureste hasta el Misisipi. La mayoría de los ensayos se realizaron en Nevada.



*Un pastel en forma de hongo atómico. (Fotografía por gentileza de la Biblioteca del Congreso de EE.UU.)*

Muchas de aquellas primeras pruebas se centraron en una pregunta: ¿cómo resistiría una casa típica americana a una explosión nuclear de hasta un megatón? La respuesta fue que no muy bien. Para hacer estas pruebas, los científicos erigieron filas de casas y locales comerciales en el desierto de Nevada, y al conjunto le dieron el alegre nombre de Ciudad de la Supervivencia. (Las calles, sin embargo, recibieron nombres más aciagos: Calle de la Muerte, Avenida del Desastre, Travesía del Juicio Final.) Cada una de las casas se llenaba con muebles y comida y con maniqués realizando las tareas cotidianas de una familia nuclear, como dormir en la cama, jugar con el bebé o pasar la tarde con amigos bebiendo y escuchando música.

Desde el primer momento quedó claro que no sería mucho lo que sobreviviría en la Ciudad de la Supervivencia. Cada vez que estallaba una bomba, los edificios en un radio de unos cientos de metros del punto cero quedaban reducidos a cenizas. Las casas más alejadas se sostenían en pie, pero en su interior la mayoría de los maniqués estaban quemados o astillados; algunos de niños aparecieron decapitados. Pese a ello, los científicos militares, arrastrados por un decidido optimismo, anunciaron que las cosas no habían ido tan mal. Incluso sacaron de entre las ruinas algunos congeladores y prepararon los pasteles de pollo, las patatas fritas y las fresas congeladas para un grupo de estudio con el fin de demostrar cómo podría vivir la gente después de una explosión nuclear. Los invitados al ágape lo calificaron de delicioso.

También las autoridades sanitarias transmitieron al público toda suerte de bobadas. Un médico sugirió que lejos de perjudicar al cuerpo, la radiactividad «estimula los espermatoцитos». Luego añadió que «probablemente el plutonio se encuentre, junto al alcohol, entre lo mejor de la vida» y afirmó que él mismo lo usaba en su dentífrico. Un psicólogo de Harvard declaró que la mayor amenaza para la humanidad después de un ataque nuclear no sería, pongamos por caso, los millones de muertos o el colapso de la civilización, sino el exceso de sexo extramatrimonial entre los supervivientes.\*

Entre tanto, sin embargo, comenzaron a circular noticias bastante más inquietantes sobre los efectos más insidiosos a largo plazo de las armas nucleares. Los cánceres de acción más rápida, como la leucemia, ya estaban diezmando Hiroshima y Nagasaki. Los científicos del Proyecto Manhattan, que ahora se hallaban esparcidos por todo el país, comenzaron a murmurar sobre Slotin y Daghlian en los laboratorios y las comidas en la universidad. Incluso la Cerda 311, que vivía a lo grande en el Zoo Nacional, resultó ser estéril. Además, engordó hasta los 270 kilos y murió en 1950 a la edad de cuatro años y medio, muy joven para una cerda. Al final, tal vez no fuese la radiación una de las cosas buenas de la vida.

Y lo que es peor, a principios de la década de 1950 hizo su aparición en el vocabulario nacional un nuevo término: lluvia radiactiva. La mayor parte de la lluvia radiactiva causada por las pruebas nucleares americanas cayó en el desierto de Nevada, y el gobierno la siguió atentamente. Pero el gobierno carecía al principio de un programa nacional de detección porque los científicos no comprendieron que los hongos atómicos podían llevar la lluvia radiactiva hasta las capas altas de la atmósfera, donde los vientos la dispersaban ampliamente. De hecho, los primeros en darse cuenta de lo lejos que llegaba a dispersarse la lluvia radiactiva fueron empleados de Eastman Kodak, quienes descubrieron que algunos de los materiales de envoltorio que usaban para los envíos eran radiactivos. Estaban hechos de cáscaras de maíz recicladas procedentes del suroeste de Indiana, y emitían radiación en dosis suficientes como para echar a perder envíos enteros de película fotográfica.

Las nubes de lluvia radiactiva estaban formadas por varios tipos de partículas. Las propias nubes a veces tenían en un principio una tonalidad rojiza a causa de los gases de óxido de nitrógeno que se forman con el calor



de la explosión nuclear. Pero los materiales realmente peligrosos eran invisibles: átomos radiactivos solitarios y esquivos que se formaban cuando el plutonio se escindía en fragmentos, cualquier cosa entre el antimonio-125 y el circonio-97. La fisión del plutonio también liberaba neutrones que se adherían a toda prisa a moléculas por lo demás inocuas, como  $N_2$ , tornándolas radiactivas. Estas especies radiactivas migraban entonces miles de kilómetros arrastradas por corrientes de aire a gran altitud, y acababan depositándose por su propio peso o eran atrapadas por tormentas que convertían en puntos calientes de radiactividad a las ciudades que menos lo sospechaban, como Albany, en el estado de Nueva York, o Minot, en Dakota del Norte. En contra de lo que uno pudiera pensar, las lluvias, que producían escorrentía y lavaban la radiactividad, eran menos peligrosas que las nieblas, que permitían que la radiactividad persistiera.

El mundo nunca había conocido una amenaza como la lluvia radiactiva. Durante la primera guerra mundial, Fritz Haber también había convertido el aire en un arma, pero bastaba una brisa un poco enérgica para que aquellos gases dejasen de ser perniciosos. No así la lluvia radiactiva, que persistía durante días, meses o años. Un escritor de la época comentaba la angustia de mirar cómo pasaban las nubes y uno no podía por menos que preguntarse qué peligros podían esconder. «Ninguna previsión del tiempo desde la que recibí Noé», declaró, «ha traído tan malos presagios para la raza humana».

Fue la lluvia radiactiva, más que ningún otro peligro, la que sacudió a la gente y la despojó de su complacencia acerca de las armas nucleares. A principios de la década de 1960, los átomos radiactivos (de los ensayos nucleares de la Unión Soviética y de Estados Unidos) habían contaminado hasta el último centímetro cuadrado de la Tierra; hasta los pingüinos de la Antártida habían estado expuestos a ellos. La gente se mostró especialmente atemorizada cuando descubrió que la lluvia radiactiva afectaba sobre todo a los niños. Un producto de la fisión, el estroncio-90, tendía a depositarse en los estados cerealistas del Medio Oeste, donde las plantas lo absorbían a través de las raíces, e iniciaba su viaje por la red trófica cuando las vacas comían hierba contaminada. Como el estroncio se sitúa debajo del calcio en la tabla periódica, se comporta de manera parecida en las reacciones químicas, lo que significa que el estroncio-90 acababa concentrándose en la leche, un producto

rico en calcio, y aún más en los huesos y dientes de los niños que la bebían. Un científico nuclear que había trabajado en Oak Ridge y luego se había trasladado a Utah, en la dirección de los vientos procedentes de Nevada, se lamentaba de que sus dos hijos habían absorbido más radiactividad en unos años en el oeste que él mismo en dieciocho años de investigaciones sobre la fisión.

Ni siquiera los más ardientes patriotas, ni siquiera los halcones, los políticos de la línea dura que consideraban que la Unión Soviética era la mayor amenaza para la libertad y para el pan de cada día que el mundo había conocido, podían mostrarse a favor de poner la radiactividad en los dientes de los niños. La enorme inercia de los programas de ensayos nucleares permitió que estos todavía se prolongasen durante algún tiempo, pero a finales de la década de 1950 los ciudadanos americanos comenzaron a protestar en masa. El grupo activista SANE publicaba anuncios que rezaban «Nada de contaminación sin representación», y al cabo de un año de su fundación en 1957, ya contaba con veinticinco mil afiliados. Estudios detallados de los patrones meteorológicos no tardaron en refrendar su posición, pues ahora los científicos se daban cuenta de lo rápidamente que podían dispersarse los contaminantes por la atmósfera. La cultura pop también tuvo su peso:\* Spiderman, Hulk y Godzilla, todos ellos víctimas de algún accidente nuclear, debutaron en esta época. Las diversas protestas culminaron en la firma, en 1963, de un tratado entre Estados Unidos, la Unión Soviética y Gran Bretaña para poner fin a todas las pruebas nucleares atmosféricas. (China continuó haciéndolas hasta 1974, Francia hasta 1980.) Y aunque esto parezca historia antigua (al fin y al cabo, fue John F. Kennedy quien firmó el tratado de prohibición de pruebas nucleares) todavía hoy, de diferentes maneras, sufrimos las repercusiones de aquella lluvia nuclear.

Antes que nada, para dejar las cosas claras debo señalar que no hay nada intrínsecamente maligno o no natural en la radiactividad. Todos los que comemos alimentos y bebemos agua consumimos radiactividad de fuentes naturales, no relacionadas con la lluvia radiactiva, al menos el equivalente a cuatro placas de rayos X al año. (No es que nuestros alimentos liberen rayos X, sino que los distintos tipos de radiactividad de los alimentos producen en nuestros tejidos daños de la misma magnitud\* que cuatro placas de rayos X.)

Hay radiactividad en las nueces de Brasil, en el café y en la carne roja. Los plátanos contienen una cantidad de potasio-40, que es radiactivo, suficiente para que algunas veces los grandes cargamentos disparen los detectores de radiación de los puertos. Los científicos nucleares han creado incluso una medida informal de la radiactividad cotidiana llamada dosis equivalente a un plátano o BED (por sus siglas en inglés).

(Por cierto que todo ese potasio-40, tanto de los plátanos como de la corteza de la Tierra en general, se desintegra gradualmente en argón y se dispersa por el aire. Eso explica por qué justamente este gas noble es tan común en la atmósfera: el potasio radiactivo lo genera constantemente.)

Y ya que hablamos del aire, quienes respiramos inhalamos veinte placas más de rayos X al año, sobre todo de radón. También hay que tener en cuenta los rayos cósmicos, unas corrientes de partículas subatómicas que tienen su origen en el espacio profundo y bombardean nuestro planeta en cantidades inimaginables (hasta diez mil por metro cuadrado y segundo en algunos lugares). La atmósfera filtra la mayoría de los rayos cósmicos, pero como el aire es menos denso a gran altitud, nos exponemos a una dosis mayor de este granizo cósmico cada vez que hacemos un vuelo transcontinental o visitamos Denver.

Aún hay más. Los detectores de humo liberan partículas alfa, y los viejos televisores liberaban rayos X. La arena para gatos tiene uranio, al igual que las revistas de papel satinado o las elegantes encimeras de granito. Nadie se desploma limpiando la bandeja de arena de Bigotitos, así que ya se puede imaginar uno que no hay necesidad de preocuparse por la radiactividad natural y cotidiana. Habría que comer veinte millones de plátanos para inducir un síndrome de irradiación, ochenta millones para morir seguro. Toda esta cháchara sobre docenas de placas de rayos X da miedo, pero hay que recordar que se distribuyen a lo largo de todo el año, de manera que las células tienen tiempo de recuperarse y reparar los daños.

Entonces, ¿cuánta radiactividad remanente de los ensayos con armas nucleares inhalamos cada año? Que suene una nota triste de trombón: el equivalente a una décima parte de una placa de rayos X. Lo suficiente para acortar la vida por término medio en 1,2 minutos. Estadísticamente, tres caladas de cigarrillo hacen más daño.

Pero antes de exclamar un «¡Acabáramos!» de alivio, pensemos en lo siguiente. Los rayos cósmicos naturales producen carbono-14 en el aire que luego se une al oxígeno para formar  $\text{CO}_2$  radiactivo, que a su vez es absorbido por las plantas y comienza su ascenso por la cadena trófica. Cada uno de nosotros llevamos en todo momento mil billones de átomos de este carbono radiactivo en nuestras células. Aunque no sean dosis brutales, estos átomos dañan el ADN y producen mutaciones que pueden dar lugar a un cáncer.

Con eso en mente, consideremos ahora el hecho de que las pruebas de bombas atómicas casi doblaron la cantidad de carbono-14 en el aire entre 1950 y 1963, añadiendo más de medio billón de kilogramos. Esa concentración todavía no ha bajado a los niveles normales, ni lo hará durante los próximos mil años. En consecuencia, tenemos una probabilidad un poco mayor de contraer cáncer de la que tendríamos de otro modo, incluso quienes nacieron después de que se firmara el tratado de prohibición de pruebas. Pero ¿hasta qué punto mayor? Depende de las suposiciones de las que uno parta, en 1990 el carbono-14 añadido todavía inducía entre cien mil y un millón de mutaciones adicionales de ADN por persona y día. Es verdad que la tasa de mutación normal del cuerpo empequeñece a aquella en varios órdenes de magnitud, y que la mayor parte de los daños se reparan enseguida. Pero no todos. Los científicos estiman que en todo el mundo y por culpa de las bombas atómicas sufriremos varios millones de casos adicionales de cáncer relacionados con carbono-14, al final dos millones de muertes más por cáncer, la mayoría todavía por venir. (Recordemos, además, que esto es solo carbono-14; también flotan en el aire otras especies radiactivas que entran y salen de nuestras células.) Todo esto ayuda a poner en perspectiva esa estadística de los 1,2 minutos. Es precisa, pero es un *promedio*. La mayoría de las personas perderán cero minutos, pero millones de personas perderán muchísimo más que ochenta y tantos segundos.

Siguiendo el razonamiento, es un tanto engañoso comparar la absorción de una cantidad  $X$  de radiactividad con cuentagotas a lo largo de todo un año que la misma cantidad en un solo trago de lluvia radiactiva, puesto que los tragos grandes hacen más daño. Los marineros que trabajaron en las pruebas de Bikini murieron, por término medio, tres meses antes que las personas de

grupos de control, lo cual no es trivial. Las personas nacidas durante el *baby boom* de 1946-1964 también se enfrentan a un riesgo mayor porque eran niños durante el pico de las pruebas nucleares.

A modo de ejemplo, consideremos el caso de mi madre, que tuvo en su contra varios embates demográficos. Se crio en la década de 1950, y en el Iowa rural, que recibió concentraciones de lluvia radiactiva bastante más altas que los núcleos de población de las costas. (En general, los niños de Los Ángeles tuvieron suerte porque raramente soplan en esa dirección los vientos de Nevada.) La mayor parte de la exposición que sufrió mi madre se habría producido por beber leche contaminada con estroncio-90 o, lo que es peor, yodo-131, otro producto común de la fisión. Como el estroncio, el yodo es absorbido por las plantas y se concentra en la leche de las vacas; la leche de pecho también lo contiene en cantidades apreciables, al igual que el queso fresco, los huevos y las verduras de hoja. Y mientras que el estroncio-90 por lo menos se distribuye por todo el cuerpo, el yodo-131 se concentra en la glándula tiroides, donde bombardea con partículas radiactivas ese órgano del tamaño de la lengua. El yodo-131 se desintegra con rapidez, con una vida media de ocho días. Pero bastaron tan solo unos pocos días para que la nube rojiza de lluvia radiactiva fuese arrastrada de Nevada a Iowa. La familia de mi madre agravó el problema porque a veces bebía leche fresca de la vaca del patio de sus primos en lugar de leche embotellada, que tras varios días en la estantería ya está empobrecida en yodo-131. Basándome en las cifras publicadas por el gobierno de Estados Unidos, su glándula tiroides probablemente absorbiera cinco veces más yodo-131 que el americano medio de entonces, y un millar de veces más de la que recibiré yo durante toda mi vida (toquemos madera). Algunos de sus compañeros del oeste absorbieron al menos quince veces la media, posiblemente más.

¿Cómo afecta todo eso a la salud? Los genetistas temían que se produjese un pico de bebés mutantes en la población situada a favor del viento contaminado en la década de 1950, pero eso no ocurrió. Para que un niño herede una mutación, el ADN del óvulo de la madre o del espermatozoide del padre tiene que estar afectado, pero por suerte ni el estroncio-90 ni el yodo-131 se concentran cerca de las gónadas. La verdadera preocupación, como ya se ha dicho, es el cáncer. Basándose en las tasas anteriores a la década de

1950, los médicos han calculado que entre las personas que crecieron durante los años cincuenta en Estados Unidos se observarán alrededor de 400.000 casos de cáncer de tiroides durante toda su vida. El yodo-131 radiactivo probablemente incrementa esa cifra en 50.000 casos. También aumentarán las tasas de otros cánceres.

No olvidemos que también sufrieron personas de fuera de Estados Unidos, en especial los pobres habitantes de Bikini. En 1945, el ejército americano desalojó a los 167 nativos con la promesa de que podrían volver a los pocos años. Lamentablemente, Gilda y sobre todo Helen envenenaron los peces de la laguna de la que dependían como alimento. (En 1946 unos biólogos capturaron un pez que era lo bastante radiactivo como para sacarse él mismo una placa de rayos X; solo tuvieron que colocarlo sobre un papel fotográfico, y unas horas más tarde había dejado marcada su silueta.) Tras su desalojo, los habitantes de Bikini se las arreglaron para sobrevivir en un atolón cercano que no tenía ni agua dulce ni pozas de pesca, lo que los dejó famélicos y dependientes de los suministros del ejército de Estados Unidos. Aunque unos pocos americanos habían comparado el traslado inicial con los israelitas de camino al paraíso, un jefe de Bikini llamado Judas señaló que ahora su situación se parecía más a la de los israelitas vagando por el desierto. Eran nómadas nucleares.

Todavía habrían podido regresar a Bikini unos años más tarde si los americanos no hubieran comenzado a probar allí mismo unas bombas nucleares más grandes y destructivas llamadas Supers. Como muchos de los experimentos de Alfred Nobel, los Supers eran dispositivos de dos fases. Primero se producía una explosión por fisión de plutonio. Los rayos X de esta explosión excitaban entonces un depósito cercano de átomos de hidrógeno, que empezaban a fusionarse formando helio. Esta es la misma reacción básica de fusión que alimenta al Sol, liberando montones de energía en fracciones de segundo. El 1 de marzo de 1954, los militares americanos desataron en Bikini ese celestial infierno durante el infame ensayo de Castle Bravo.

El director científico de Castle Bravo no era otro que Alvin Graves, el hombre que observaba por encima del hombro de Louis Slotin el día del segundo accidente con el núcleo del demonio. Graves había salido con vida del desastre por los pelos, y solo después de un horrible proceso de

recuperación: tras volver a su casa desde el hospital, dormía dieciséis horas la mayoría de los días y su recuento espermático bajó a cero durante algún tiempo. No obstante, tanto Graves como su esposa (que sin saberlo había hecho los cálculos de la dosis recibida por su marido) siguieron siendo unos ardientes defensores de las armas nucleares. Tal vez tuvieran que serlo para justificar todo lo que habían sufrido.

En 1964 Graves ya había sido padre de dos hijos, y a pesar de que tenía los ojos nublados por unas cataratas, voló a Bikini para dirigir la prueba Bravo.\* Las cosas salieron mal desde el principio. Para empezar, la bomba liberó mucha más energía de la esperada, el equivalente a mil trescientos millones de kilogramos de TNT, 650 veces más que la liberada por Helen. Y lo que es peor, pese al tiempo inestable con que amaneció el día, Graves dio la orden de detonar, y se levantó el viento en el peor momento, arrastrando la nube de lluvia radiactiva, que cayó sobre un grupo de islas al este de Bikini.

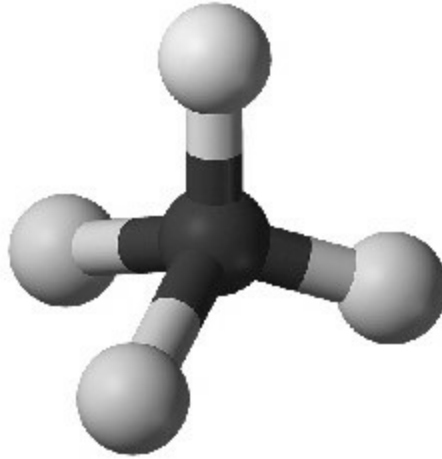
Las tribus de aquellas islas vieron cómo a las 6:45 de la madrugada estallaba en el horizonte una gigantesca bola de fuego rojiza, una alborada en la dirección equivocada. Unas horas más tarde comenzó a caer sobre ellos una ceniza blanca y salada. Al cabo de un día, islas situadas a 240 kilómetros de distancia habían recibido ventiscas de esta «nieve de Bikini» y los niños del lugar (que nunca habían visto la nieve de verdad ni sabían qué era aquello) comenzaron a jugar con ella y a comerla. Además, veintitrés pescadores de atún japoneses, la desafortunada tripulación del *Dragón Afortunado*, también se cruzó con la ventisca. A los pocos días, los pescadores y los nativos de las islas se quejaban de dolores de cabeza, náuseas, fatiga y sarpullidos, y empezaron a perder el pelo. Los niños de los atolones más cercanos absorbieron más de cien veces la lluvia radiactiva que habían recibido los peores casos americanos, el equivalente a unas diez mil placas de rayos X. En una isla, quince de los diecinueve niños desarrollaron tumores de tiroides antes de cumplir los veintiún años. Dos perdieron completamente la función tiroidea y dejaron de crecer; uno murió de leucemia. Y todo ese sufrimiento por culpa de un impredecible viento del este.

La verdad sobre el tiempo que hacía en Bikini aquella mañana sigue sin conocerse aún hoy. Algunos insisten en que un fanático Graves ordenó que se realizara la prueba pese a saber que el viento depositaría la lluvia radiactiva

en las islas cercanas. Otros sostienen que los meteorólogos militares fallaron la previsión, y aun otros que la combinación de una bomba más potente de lo esperado y unos vientos turbulentos hacían prácticamente imposible cualquier previsión. O quizá una combinación de los tres. No obstante, sospecho que la tercera explicación es la que más se acerca a la verdad. El conocimiento sobre el comportamiento de los frentes atmosféricos era bastante limitado en la década de 1950 y contribuyó a la inicial despreocupación sobre la lluvia radiactiva. Como veremos en el próximo capítulo, nuestra atmósfera es uno de los sistemas físicos más complejos que existen, e incluso en nuestros días de supercomputación y superbombas, las previsiones meteorológicas realmente precisas siguen eludiéndonos. Pero ¿por qué habría de ser así? Al fin y al cabo, los frentes atmosféricos no son más que bolsas de gases calientes o fríos que flotan por la superficie de la Tierra.



## Interludio. Albert Einstein y la nevera popular



*Diclorodifluorometano (CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>), actualmente 0,00054 partes por millón en el aire; inhalamos 7 billones de moléculas con cada aliento.*

Muchas personas saben que las investigaciones sobre armas nucleares permitieron el desarrollo de las primeras computadoras electrónicas, pero no es menos cierto que la humilde nevera, de una forma un tanto retorcida, permitió el desarrollo de la primera bomba atómica.

Mientras leía el periódico una mañana de 1926, Albert Einstein casi se atraganta con los huevos.\* Un familia entera de Berlín, incluidos varios niños, se había asfixiado unas noches antes cuando se rompió una junta de su nevera y su apartamento quedó inundado de gases tóxicos. Angustiado, el físico de cuarenta y siete años llamó a un joven amigo, el inventor y científico Leo Szilard. «Debe haber un modo mejor», le suplicó.

Szilard (que se pronuncia «Sil-ard»), un hombre robusto de veintiocho años, había impresionado a Einstein seis años atrás al demostrar que había cometido cierto error científico (algo que no pasaba muy a menudo.) Szilard también tenía buena mano para convertir ideas esotéricas en trebejos útiles. Años más tarde se convertiría en una especie de Thomas Alva Edison de la física de alta energía, esbozando el primer microscopio electrónico y el primer acelerador de partículas; él y Einstein habían trabado amistad en parte por la afición de ambos por los dispositivos mecánicos. (Aunque teórico y pensador de altos vuelos, Einstein provenía de una familia más dada a las habilidades manuales; su tío Jakob y su padre Hermann habían inventado nuevos tipos de lámparas de arco y medidores de electricidad. Además, el

propio Einstein había trabajado durante siete años en la oficina suiza de patentes.) Así que aquella mañana en que Einstein llamó a Szilard, los dos hombres acordaron colaborar para construir un refrigerador mejor y más seguro.

Eso no era tan raro como uno pudiera imaginar: en el medio siglo anterior, la refrigeración se había convertido en una ciencia seria. El estudio de la termodinámica y el calor habían conducido al concepto del cero absoluto (la temperatura más baja posible) y varios laboratorios de todo el mundo se afanaban por alcanzar el punto más bajo del termómetro. Alguna de la ciencia de más calidad se desarrollaba en torno a los intentos de licuar ciertos gases: nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, metano, monóxido de carbono y óxido nítrico. Durante el siglo XIX este sexteto (los llamados gases permanentes) habían resistido todos los esfuerzos por licuarlos (de ahí el nombre). Tanta testarudez había llevado a algunos científicos a declarar que estos seis gases nunca se podrían licuar, que de algún modo eran distintos del resto de la materia. Otros científicos decían que eso eran bobadas, que con el tiempo se podrían condensar con la ayuda de nuevos métodos de refrigeración. En particular, este último grupo depositaba sus esperanzas en un nuevo e ingenioso proceso cíclico que retiraba calor de las sustancias en varias etapas.

La primera etapa requería llenar una cámara con un gas que fuese fácil de licuar. Llamémosle *A*. Los científicos primero comprimían *A* con un pistón y entonces enfriaban la cámara de compresión con una camisa externa de agua fría. Tan pronto como *A* se enfriaba, se abría una válvula que reducía la presión sobre *A* y permitía que se expandiera hasta un volumen mayor. La clave del proceso es que expandirse a un volumen mayor requiere trabajo y consume energía. (Algo parecido a como una camada de cachorros encerrada en un armario gasta mucha más energía en cuanto se les abre la puerta y se les deja corretear por toda la casa.) En esta situación, la única energía que puede usar *A* para expandirse y difundirse es su propia reserva interna de energía calorífica. Pero al reducir esa reserva, inevitablemente se enfriaba aún más, y finalmente se condensaba en un líquido alrededor de  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Entonces venía la parte ingeniosa. La siguiente etapa implicaba una cámara del gas *B*, que era más difícil de licuar. Una vez más, los científicos empezaban comprimiendo el gas *B* con un pistón, pero esta vez en la camisa de

refrigeración no usaban agua fría, sino el gas *A* licuado. Esto reducía la temperatura del gas *B* hasta unos  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Entonces se abría una válvula que permitía la expansión del gas *B*, que se veía forzado a reducir su reserva interna de energía calorífica. Su temperatura descendía así hasta unos  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y entonces se licuaba.

El líquido *B* podía usarse entonces en otras camisas de refrigeración para licuar un gas *C* todavía más testarudo, y así sucesivamente siguiendo el alfabeto. Este proceso escalonado permitía alcanzar al final temperaturas tan bajas (cerca de  $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) que ni siquiera los gases «permanentes» podían resistir, y con el tiempo se consiguió licuar los seis.\* Especialmente hermoso era el oxígeno líquido, que despedía un débil relumbre azulado, como si fuera cielo líquido.

La refrigeración de los gases siguió siendo una mera curiosidad, sin embargo, hasta que la compañía cervecera Guinness invirtió en la tecnología hacia 1895. Antes, las cervecerías solamente fabricaban cerveza en invierno y la almacenaban. (*Lager* significa «almacén» en alemán.) Los refrigeradores permitieron a Guinness hacer cerveza durante todo el año (menos mal). A raíz de ello, el resto del mundo comenzó a utilizar refrigeradores comerciales. Todas las neveras modernas se basan en los mismos principios de enfriamiento con gases.

Si se abren los paneles interiores de una nevera, se encuentra una serie de tubos, y en su interior un líquido (llamémosle *Z*) con un punto de ebullición bajo. A medida que las cazuelas y las sobras que ponemos en la nevera emiten calor, *Z* lo absorbe por las paredes de la nevera y se calienta hasta la ebullición. El gas *Z* resultante asciende por otros tubos y se lleva con él el calor.

A continuación, *Z* entra en una cámara de compresión que compacta el gas con un pistón. (Es el motor que mueve el compresor lo que produce el característico murmullo de las neveras.) Ahora el compresor empuja el gas *Z* caliente hacia otra serie de tubos situados en la parte trasera de la nevera, lo que permite que *Z* envíe el calor hacia el mundo exterior. En este punto, el gas ya ha conseguido extraer el calor del interior de la nevera y lanzarlo al exterior, y cuando emite el suficiente calor, vuelve a condensarse en un líquido. Pasa entonces por un dispositivo de expansión que reduce su presión,

enfriándolo aún más y completando el ciclo. El líquido Z vuelve a entrar en los tubos del interior de los paneles de la nevera, a pasar a gas y a sacar calor al exterior.

Ahora bien, hay en todo esto un detalle que suena raro. Si llevamos un líquido (Z) hasta la ebullición, ¿no debería calentarse todo? En absoluto. El *líquido* se calienta, efectivamente, pero en una unidad cerrada como un refrigerador, solo puede calentarse robándole calor a la cazuela: calentar uno necesariamente enfría el otro. Y la ebullición es, de hecho, crucial. Recordemos la bestia negra de James Watt, el calor latente. Ese principio dice que los líquidos absorben enormes cantidades de calor cuando pasan a estado gaseoso. En los motores de Watt, eso era un problema; en las neveras, una bendición: absorber calor y sacarlo fuera es justamente lo que las neveras deben hacer, y nada hace eso mejor que los líquidos pasando a gases. (Este mismo proceso general explica por qué el sudor líquido, al evaporarse, nos refresca en un día de verano.)

Hacia la década de 1920 los frigoríficos de compresión de gases habían reemplazado las neveras de hielo en toda Europa y América del Norte. Solo había un problema, y es que los tres gases que más se usaban entonces como refrigerantes (amoníaco, clorometano y dióxido de azufre) eran tóxicos y de vez en cuando mataban familias enteras. (Para colmo de males, el clorometano a veces explotaba.) De ahí la promesa de Einstein de encontrar «un modo mejor». Sabía que el punto débil de los refrigeradores caseros era el compresor, cuyas juntas a menudo se agrietaban bajo la presión, así que él y Szilard diseñaron un frigorífico sin compresor, conocido como frigorífico de absorción.

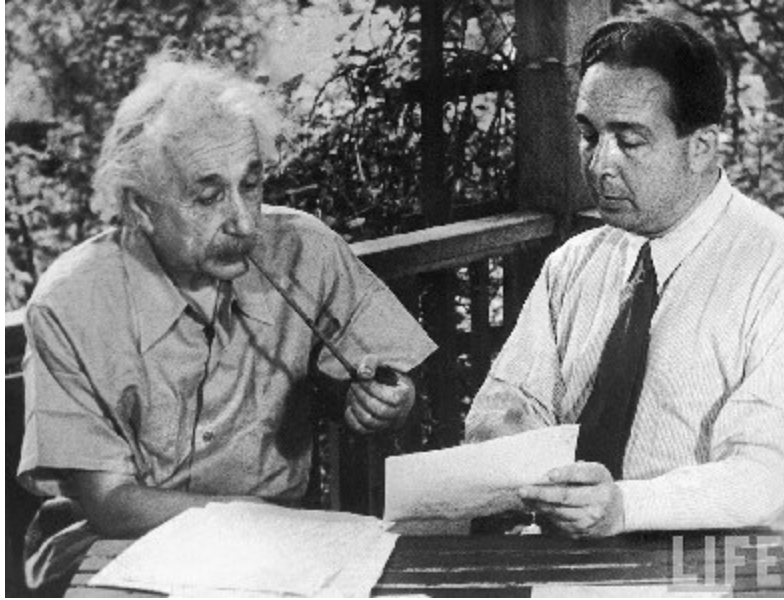
En el tipo más simple de frigorífico de absorción se comienza con dos líquidos mezclados en una cámara, el absorbente y el refrigerante. (Acordémonos de estos nombres.) La clave del diseño es que, a bajas temperaturas, estas sustancias se mezclan fácilmente, pero si se aumenta la temperatura (normalmente calentando la cámara con una pequeña llama de metano), el refrigerante escapa por ebullición en forma de gas, dejando solo el absorbente.

El gas refrigerante realiza entonces un largo y tortuoso periplo. Primero fluye hacia los tubos que hay detrás de la nevera, donde cede el calor absorbido de la llama al tiempo que el refrigerante vuelve a pasar a líquido. Este líquido fluye por gravedad a los paneles del interior de la nevera, donde absorbe el calor de una nueva cazuela. La absorción de este calor hace que el líquido bulla otra vez y el gas resultante se lleve consigo el calor absorbido, sacándolo de la unidad interior. (En algunos diseños, el gas pasa entonces por otros tubos detrás de la nevera, para ceder calor una vez más.)

Entre tanto, de vuelta en la cámara original, la llama de metano se ha apagado, permitiendo que el absorbente se enfríe, y una camisa de agua fría acaba de enfriarlo. De hecho, el absorbente se enfría tanto que cuando el gas refrigerante finalmente regresa a la cámara, el absorbente lo condensa de nuevo en estado líquido y lo reabsorbe. Acabamos así donde empezamos, con una mezcla de dos líquidos que se separan con la ayuda de una llama. En conjunto, los frigoríficos de absorción y los frigoríficos comunes enfrían las cosas del mismo modo, mediante la ebullición de líquidos a gases; sin embargo, utilizan un proceso distinto para reciclar el refrigerante.

También en este caso parece que de algún modo se esté haciendo trampa: ¿cómo puede una llama enfriar las cervezas? Pero tal es la magia de los gases. En realidad, la llama en este esquema más que añadir calor realiza un trabajo físico al separar el refrigerante del absorbente cuando convierte el refrigerante en gas. Una vez tenemos un gas libre en el sistema, tenemos un montón de opciones. El arte de la refrigeración consiste realmente en manipular gases para absorber energía calorífica, sacarla de allí y expulsarla en otro lugar. Parafraseando a Thomas Savery, podríamos decir que el refrigerador de Einstein-Szilard es un motor para enfriar el agua con fuego.

El frigorífico de Einstein-Szilard utiliza en realidad tres líquidos y gases, no dos, por lo que es un poco más complicado de lo que sugiere el esquema anterior. Sin embargo, su diseño tenía varias ventajas frente a las neveras convencionales. Al no tener motor, no hacía ruido y casi nunca se estropeaba. Tampoco necesitaba electricidad (solo metano), y no requería el uso de aquellas juntas que a menudo se rompían dejando escapar gases tóxicos.



*Leo Szilard (derecha), el inventor de la reacción nuclear en cadena, colaboró con Albert Einstein en la invención de varios tipos de refrigeradores. (Por gentileza de Los Alamos National Laboratory.)*

Al examinar este episodio, algunos historiadores han dado por hecho que Einstein se limitó a ofrecer consejo sobre la solicitud de patente o a usar su fama para atraer inversores, mientras que Szilard habría hecho todo el trabajo. En realidad, Einstein trabajó en el proyecto y la pareja acabó recibiendo docenas de patentes en seis países sobre distintos componentes de los refrigeradores. (Un abogado de patentes americano que revisaba las solicitudes tuvo que mirar dos veces, ¿quién no?, cuando vio la firma de Einstein.) El dúo acabó vendiendo varias patentes, recibiendo a cambio un bonito cheque por valor de 750 dólares (unos 10.000 dólares actuales), a raíz de lo cual abrieron una cuenta corriente compartida, como una pareja de casados. Szilard cobró unos 3.000 dólares al año en concepto de consultoría.

Como cualquier matrimonio, también el dúo tuvo sus más y sus menos. Szilard tenía un apetito de ingeniero por la complejidad y no dejaba de añadir válvulas y líneas de refrigeración a la nevera. Einstein, en cambio, buscaba la simplicidad y la elegancia, igual en sus aparatos de consumo que en su física. (Habría detestado trabajar con James Watt.) La necesidad de la simplicidad acabó llevando a Einstein y Szilard a inventar dos unidades de refrigeración que trabajaban gracias a principios físicos distintos. En uno reemplazaron el pistón de una nevera convencional por sodio fundido, que unos imanes

bombeaban arriba y abajo para comprimir los gases. El otro aparato usaba la presión del agua de un grifo de cocina para mover una pequeña bomba de vacío que enfriaba las cosas evaporando metanol. Einstein llamó a este último aparato *Der Volks-Kühlschrank*, la nevera popular.

Al final, tristemente, ninguna de las tres neveras de Einstein-Szilard llegaron a las casas de la gente. Como era de esperar, la bomba de sodio fundido resultaba ser un pelín poco práctica para una cocina normal (aunque acabó encontrando utilidad en las centrales nucleares). El refrigerador basado en el grifo fracasó porque los bloques de apartamentos de Alemania tenían una presión de agua que daba pena, lo que dificultaba el uso de la bomba de vacío. Y las neveras de absorción simplemente quemaban demasiado combustible para competir con las neveras de compresión; el diseño de Einstein-Szilard parecía, en comparación, un motor de Newcomen.

Incluso la mayor objeción a las neveras convencionales, los gases letales, se desvaneció en la década de 1930 con la llegada de un gas nuevo y no tóxico, el freón ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ). En una década, prácticamente todas las unidades caseras se habían cambiado a este clorofluorocarbono,\* y la nevera de Einstein-Szilard se quedó en reliquia histórica. Como es bien sabido, el freón tenía un molesto inconveniente. Cuando las neveras viejas acababan en las chatarrerías, el freón se escapaba y ascendía hasta la estratosfera. Allí, la luz ultravioleta separaba los átomos de cloro, creando radicales libres que se comían las moléculas de ozono con maníaca eficiencia: cada radical de cloro puede destruir un total de 100.000 moléculas de  $\text{O}_3$ . Esta destrucción acabó por abrir un agujero en la capa de ozono que todavía existe y tardará décadas en acabar de cerrarse, si es que algún día llega a hacerlo. A la larga, la humanidad se habría ahorrado un buen dolor de cabeza invirtiendo en la propuesta de Einstein-Szilard de enfriar el agua con fuego.

(Por cierto que el químico que inventó el freón, Thomas Midgley, también desarrolló la primera gasolina con plomo en 1921. Lo hizo para ayudar a reducir el picado del motor, pero el plomo de la gasolina también contaminaba la atmósfera y dañaba el cerebro de los niños durante su crecimiento. Así pues, en menos de una década este hombre inventó los que posiblemente sean los dos peores productos industriales del siglo XX. Sin embargo, Midgley no llegó a vivir lo suficiente para ver las consecuencias. Tras enfermar de polio

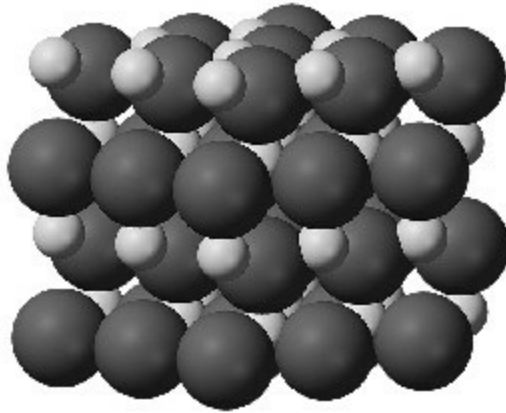
en 1940 y perder el uso de las piernas, inventó un sistema de cuerdas y poleas para trasladarse de la cama a la silla de ruedas, pero una mañana de 1944 se enredó con una de las cuerdas y murió estrangulado.)

Entonces, ¿fue la nevera de Einstein-Szilard una pérdida de tiempo y talento de estos dos hombres? No del todo. Einstein encontró en el trabajo una refrescante distracción de su fútil búsqueda de una Teoría de Todo. Con dos familias que sostener y una economía alemana que se desplomaba, a Einstein también le vinieron muy bien aquellos ingresos adicionales. Szilard necesitaba el dinero aún más, sobre todo después de huir de la Alemania nazi, instalándose en Londres en 1933. (Tenía una parte de judío.) Durante los años siguientes sobrevivió gracias a los ingresos que le proporcionaron las neveras, y utilizó su repentina libertad para dar largos paseos y pensar sobre cuál sería el siguiente gran paso de la física. La respuesta le llegó una tarde de septiembre de 1933 mientras descendía de una acera cerca del Museo Británico. Había oído hablar de una serie de experimentos que implicaban la liberación de unas partículas subatómicas llamadas neutrones, y empezó a preguntarse qué pasaría si, pongamos por caso, un átomo de uranio se escindiera y liberara múltiples neutrones. Otros átomos de uranio cercanos podrían absorberlos, tornarse inestables y liberar más neutrones al escindirse. Estos neutrones secundarios pasarían a desestabilizar más átomos, que liberarían neutrones terciarios, y así sucesivamente. Cada uno de los átomos que se escindía liberaría energía (de acuerdo con la famosa ecuación de su colega,  $E = mc^2$ ) en una cascada cada vez mayor...

Para cuando acabó de cruzar la calle, Szilard había establecido el principio en el que se basaría la primera reacción nuclear en cadena. Y a diferencia de sus ingeniosos refrigeradores, esta invención se hizo tremendamente popular en las turbulentas décadas que siguieron, unas décadas que harían añicos no solo la fe de la gente en una ciencia benevolente, sino también la fe de los científicos en un universo ordenado, exacto y predecible.



## Las guerras meteorológicas



*Yoduro de plata (AgI), actualmente cero partes por millón en el aire (a no ser que alguien esté sembrando nubes sobre nuestras cabezas).*

El químico Irving Langmuir ya había ganado un premio Nobel, pero nunca antes había saltado de alegría durante un experimento. Era el 13 de noviembre de 1946 y se encontraba en la torre de control del aeropuerto de Schenectady, en Nueva York, mirando un pequeño avión de hélice que daba vueltas por el cielo. A 4.200 m de altitud su ayudante, asomado a una de las ventanas del avión, lanzaba bolitas de hielo seco sobre una nube. Segundos más tarde, la nube «comenzó a retorcerse como de dolor», recordaría un testigo, y a los cinco minutos había desaparecido, transformada en lluvia.

Claro que ni una gota de esa lluvia llegó al suelo, pues se evaporó por el camino. Pese a ello, Langmuir prácticamente comenzó a dar vueltas en círculos por debajo. «¡Esto es historia!», gritaba. Antes incluso de que aterrizara el avión, corrió a telefonar a un periodista. La humanidad, dijo a grandes voces por el micrófono, por fin había aprendido a controlar el tiempo atmosférico.

Si cualquier otro hubiera se hubiera pronunciado de tal modo, el periodista probablemente habría colgado, pero en su tiempo Langmuir era tan famoso como Albert Einstein, y sus opiniones tan escuchadas como las de este. Y aunque Langmuir era químico de formación, esta incursión en la meteorología a nadie le pareció insensata; de hecho, eran habituales las incursiones en la meteorología de expertos en otros campos. Los químicos

neumáticos estudiaban el tiempo atmosférico con interés para entender cómo se comportaban los gases del aire. Los astrónomos tomaban notas asiduas del tiempo para predecir cuándo tendrían cielos claros para sus telescopios. Lo mismo hacían los médicos, bajo la suposición de que eran los malos aires los causantes de las enfermedades. Robert Hooke, John Dalton, James Watt, lord Rayleigh, la lista de meteorólogos ocasionales es inacabable. Durante el viaje del *Beagle*, Charles Darwin se convirtió en el primer científico que estudió El Niño, y en 1861 fue Robert FitzRoy, el capitán del *Beagle*,\* quien publicó la primera previsión del tiempo de la historia en *The Times* de Londres.

Aun así, Langmuir fue mucho más lejos que sus predecesores en las ambiciones y esperanzas que depositó en la meteorología: no quería simplemente entender el estado atmosférico, quería controlarlo. Ciertamente es que los científicos que se aventuraban en la meteorología siempre habían tenido un punto de confianza irracional. Pese a siglos de esperanzas frustradas, nunca perdieron la fe en que estaban *a un paso* de entender cómo funcionaba el tiempo. Solo había que esperar a tener nuevos barómetros, o nuevas estaciones meteorológicas, o nuevas computadoras, para poder preverlo a la perfección. La meteorología es para la ciencia como ese equipo de fútbol que siempre está a un año de ganar la liga.

Pero incluso entre tanto inquebrantable optimista, Langmuir era un caso aparte. Había llegado a la meteorología durante una suerte de crisis científica a mitad de su carrera, y su carisma e impecables credenciales persuadieron a cientos de colegas de unirse a su cruzada. Su trabajo finalmente resultó ser vano, poco más que una versión moderna de la primitiva danza de la lluvia, pero mientras duró, montaron un auténtico espectáculo.

El primer defensor destacado del control del tiempo atmosférico surgió de la tierra del «sí se puede», la frontera americana. James Espy, «el rey de la tormenta», un meteorólogo de Kentucky, observó en la década de 1830 que las fogatas de los indios a veces producían lluvia, y en sus viajes a la gran ciudad había visto que el humo de las chimeneas de las fábricas también parecía atraer las nubes de lluvia. Amparado en la funesta ley de que correlación implica causación, Espy declaró que el humo debía producir la caída de la lluvia y comenzó a promover un plan para regular las precipitaciones en el

este de Estados Unidos. Todo lo que tenía que hacer el gobierno era provocar un gran incendio forestal en los montes Apalaches cada domingo por la tarde, y pronto el tiempo atmosférico sería tan regular como las mareas.

Para ser justos, Espy fue pionero también de varias teorías menos estrafalarias, la más importante de las cuales tiene que ver justamente con la formación de las nubes. En su opinión, las nubes se forman cuando una bolsa de aire caliente asciende hasta la atmósfera superior, más fría, y el vapor de agua que contiene se condensa. No solo era esta teoría básicamente correcta, sino que se anticipó a una de las leyes más importantes de la meteorología moderna, que el vapor de agua está detrás de la mayoría de los cambios en el estado atmosférico. A diferencia de la mayoría de los gases de la atmósfera, la concentración de vapor de agua puede variar en varios órdenes de magnitud dependiendo de condiciones locales, desde prácticamente cero en los desiertos hasta unas pocas unidades porcentuales en las selvas tropicales. Además, a diferencia de los otros constituyentes mayoritarios del aire (oxígeno, nitrógeno, argón, todos los cuales se mantienen en estado gaseoso hasta varios cientos de grados bajo cero), el agua cambia fácilmente entre líquido y vapor dentro de la horquilla de temperaturas habituales en la superficie de la Tierra. A consecuencia de ello, el agua constantemente se está condensando y evaporando en distintos lugares. Y como el agua siempre se está condensando y evaporando, siempre está absorbiendo y liberando calor latente en el aire que lo rodea. Este flujo de calor provoca cambios en la presión y la temperatura que, a su vez, producen regiones de aire diferenciadas que conocemos como frentes. Cuando estos frentes de alta o baja presión chocan, producen cambios en el tiempo, ya sea induciendo vientos, ya estallando en tempestades. (El término «frente» se acuñó durante la primera guerra mundial, inspirado en los enfrentamientos entre ejércitos.) Todo este caos por culpa de un poco de agua.

El estudio del agua también atrajo a Irving Langmuir a la investigación meteorológica. En su trabajo habitual, Langmuir estudiaba química superficial en los Laboratorios General Electric, en el estado de Nueva York. A diferencia de la mayoría de los laboratorios corporativos, en el de GE tenía libertad para investigar sobre lo que más le interesase, y durante la segunda guerra mundial comenzó a estudiar la acumulación de hielo en las alas de los

aviones. Aquello lo llevó a realizar una serie de estudios de campo en el cercano monte Washington, en New Hampshire. Este monte era célebre entre los aficionados al tiempo atmosférico por sus vientos: hasta la década de 1990 retuvo el récord mundial del viento más rápido medido en la Tierra, de 371 kilómetros por hora, registrado en 1934. Pero Langmuir estaba más interesado en la extraña humedad de la montaña, que a menudo producía nieblas de agua «sobreenfriada» que, pese a registrar una temperatura por debajo de 0 °C, se negaba a congelarse. Esta indeterminación al estilo del gato de Schrödinger (¿cómo era posible que el agua no se congelara por debajo de su punto de congelación?) intrigaba a Langmuir, que estaba deseoso de averiguar algo más sobre esta cuestión.

Para que le ayudase con esta misión, recabó la ayuda de un asistente llamado Vincent Schaefer. Mientras que Langmuir poseía varios grados avanzados y había estudiado ciencia en París y Alemania, Schaefer había dejado el instituto para trabajar en GE y ayudar a sus padres a pagar las facturas. Había comenzado trabajando de maquinista y constructor de modelos, al estilo de James Watt, pero aquello le pareció tedioso y empezó a explorar otras opciones por medio de una academia por correspondencia. (En cierto momento, consideró seriamente la posibilidad de convertirse en cirujano de árboles.) Al conocer a Langmuir, se despertó en él un interés por las ciencias naturales, y no tardó en inventar una máquina para preservar impresiones de copos de nieve. Impresionado, Langmuir reclutó a Schaefer en 1946 para que le ayudase a estudiar el agua sobreenfriada.



*Irving Langmuir (izquierda) y Bernard Vonnegut (derecha) miran atentos mientras Vincent Schaefer sopla dentro de un congelador para crear cristales de hielo, un paso precursor de la producción de lluvia artificial. (Fotografía por gentileza de miSci, el Museo de la Innovación y la Ciencia.)*

Schaefer comenzó sus experimentos pidiendo un arcón congelador GE que costaba 240 dólares (3.000 dólares actuales). Lo revistió de terciopelo negro para poder observar la formación de cristales, y entonces ya podía soplar suavemente en el aire frío para introducir humedad, que de inmediato quedaba sobreenfriada. Sin embargo, semana tras semana, por mucho que variara las condiciones del congelador, el agua de su aliento nunca se condensaba en hielo.

Un sofocante día de julio, cuando el congelador se las veía y se las deseaba para mantener el frío, Schaefer se acercó al laboratorio de al lado y pidió prestado un bloque de hielo seco ( $\text{CO}_2$  congelado) para ponerlo en una esquina. Aquello lo cambió todo. En el instante mismo en que bajó el cubo de hielo al fondo del congelador, comenzaron a relumbrar en la neblina millones de cristales de hielo. Luego se fueron depositando sobre el terciopelo negro, brillando como microscópicos diamantes. Schaefer pensó primero que el hielo seco había inducido un cambio químico en la neblina, pero experimentos

posteriores lo descartaron, dejando claro que la clave de todo era la temperatura del hielo seco. Mientras que la temperatura del congelador GE no bajaba de  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el hielo seco estaba por debajo de  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Expuesta a tan brutal y antinatural frío, hasta el agua sobreenfriada se rendía y formaba hielo.

Aquel descubrimiento le dio que pensar a Langmuir. Los científicos de la época sabían que las nubes del cielo eran básicamente bolsas poco definidas de agua sobreenfriada. También sabían que la mayor parte de la lluvia en realidad comienza a caer del cielo en forma de cristales de hielo, que luego se van fundiendo a medida que descienden. Langmuir razonó que si salpicaba las nubes con hielo seco, tal vez podría sacudir aquella agua sobreenfriada y crear lluvia artificialmente. La idea lo llevó a alquilar una avioneta aquel mismo noviembre y a enviar a Schaefer a las nubes cargado con poco menos de tres kilos de bolitas de hielo seco para ver qué pasaba. Veinte minutos más tarde, Langmuir clamaba a voces que allí se había hecho historia.

Ni corto ni perezoso, organizó un estupendo segundo ensayo para el 20 de diciembre, pero no tardó en descubrir que al final su libertad en GE tenía límites. Como antes, aquella tarde de viernes Schaefer sembró una nube desde una avioneta, y la nube comenzó a temblar y retorcerse, pero no ocurrió nada de inmediato, así que el equipo regresó a sus casas. Sin embargo, aquella misma noche aquella parte del estado de Nueva York quedó cubierta por una capa de nieve de veinte centímetros. Hubo coches que se salieron de la carretera, autopistas impracticables a lo largo de cientos de kilómetros, negocios que perdieron millones de dólares en ingresos de compras navideñas. Langmuir no podía estar más feliz. Ciertamente es que, según él mismo admitía, la Oficina Meteorológica ya había predicho la tormenta, y que la nube que sembraron parecía «madura» y a punto de descargar por su propia cuenta. Tanto daba. Langmuir se arrogó de todos modos el crédito por la primera tormenta provocada de la historia de la humanidad.

Entre tanto, los abogados de GE sufrían un aneurisma colectivo: las posibles responsabilidades eran impresionantes. Obligaron a Langmuir a publicar una declaración en la que afirmaba que la siembra de la nube no había causado la tormenta, y luego le prohibieron hacer más trabajo de campo en nombre de GE.

Aquello, naturalmente, decepcionó a Langmuir, pero no era hombre dado a las lamentaciones. Su equipo siguió trabajando en el laboratorio y (que les den a los abogados), no tardó en esbozar una idea tan revolucionaria que abandonó todos los otros proyectos que tenía en agenda para perseguirla. Aquella idea no solo prometía mejorar la generación de lluvia, sino que conferiría a Langmuir el poder sobrehumano de controlar los huracanes.

El concepto se fundamentaba en la teoría general de la formación de nubes que había formulado James Espy, según la cual las nubes se forman cuando una bolsa de aire caliente y menos denso asciende por la atmósfera. En algún momento, el vapor de agua que contiene se enfría y condensa en gotas de agua líquida. Desde el suelo, vemos esos montones de gotitas como nubes, y durante muchos años los meteorólogos habían supuesto que de aquella situación se seguía automáticamente la lluvia, en cuanto a las gotas les daba por caer. Pero resulta que no es tan sencillo. La mayoría de las gotitas que se forman en el interior de las nubes *no* caen automáticamente en forma de lluvia porque son demasiado pequeñas. Como ya sabían los primeros aeronautas de los globos aerostáticos, el aire proporciona una fuerza ascendente de sustentación sobre todo lo que lleva en suspensión, incluidas las gotas de agua. Y cuando las gotas se forman a gran altitud, la mayoría son tan pequeñas (una diezmillonésima de gramo) que la gravedad no basta para superar la fuerza de sustentación y arrastrarlas hasta el suelo. De hecho, la gravedad pierde esta batalla hasta que las gotitas crecen hasta ser un millón de veces más grandes, de una décima de gramo. Así pues, está claro que para que caiga una gota de lluvia tienen que juntarse un millón de gotitas minúsculas en una unidad de mayor tamaño. En caso contrario, se quedan donde están.

La pregunta obvia es qué hace que las diminutas gotitas se junten. Intuitivamente, uno podría pensar que las gotitas simplemente chocan al azar y se unen unas a otras. Este proceso, sin embargo, no es muy eficiente, y las gotas que se forman de este modo raramente crecen lo bastante como para precipitarse hacia el suelo. Una forma mejor requiere de «semillas», superficies sólidas a las que pueden adherirse las gotas de agua. Por varias razones, una vez que se unen a la semilla unas pocas gotitas, muchas más las

siguen en rápida sucesión hasta que, por fin, las gotas crecen hasta hacerse lo bastante pesadas como para caer de las nubes en forma de precipitación. Si uno quiere transformar una nube en lluvia, necesita esas semillas.

Los cristales de hielo constituyen las mejores semillas: las motas de hielo del interior de las nubes tienden a apropiarse de todas las gotitas de agua de su entorno inmediato. (Así se explica que el hielo seco provocara tal conmoción en el interior de las nubes, y es que el hielo seco convertía en cristales de hielo el agua sobreenfriada que contenía la nube.) Las partículas extrañas como el polvo también funcionan bien como semillas. Sirven incluso las bacterias en suspensión. Tanto es así que muchos copos de nieve comienzan su vida como gélidos sepulcros de bacterias (algo que recordar la próxima vez que cacemos copos de nieve con la lengua).

Ahora bien, por buenos que sean el polvo y las bacterias como semillas, Langmuir se dio cuenta de que algunas sustancias químicas artificiales podían funcionar incluso mejor. En concreto, buscaba una sustancia cuya estructura molecular se asemejase al hielo, algo cuya forma engañase al agua sobreenfriada y la llevase a adherirse, y le pidió a otro ayudante de GE, Bernard Vonnegut, que se ocupase de buscarla. Durante semanas, Vonnegut pasó muchas y muy estimulantes horas en la biblioteca, examinando página tras página de libros de cristalografía. Finalmente dio con tres candidatos, uno de los cuales era el yoduro de plata. Químicamente, este compuesto no se parece en nada al agua (es un polvo de color amarillo pálido), pero forma cristales hexagonales igual que el hielo. Y las pruebas realizadas en su congelador industrial GE les demostraron que efectivamente engañaba al agua sobreenfriada provocando una auténtica reacción en cadena de formación de hielo. Si aquello funcionaba en las nubes de verdad, les daría literalmente un baño de plata, y Langmuir podría manipularlas a su gusto.

(Esta reacción en cadena con hielo suscita una interesante apostilla. El hermano de Bernard Vonnegut trabajaba en el departamento de publicidad de GE y un buen día escuchó una historia sobre cómo en cierta ocasión el escritor de ciencia ficción H. G. Wells había visitado el laboratorio de Langmuir. Este había aprovechado la oportunidad para sugerirle a Wells una novela sobre un científico que inventa una forma especial de hielo que cristaliza a temperatura ambiente y provoca la solidificación de los océanos de todo el mundo en una



reacción en cadena. Wells amablemente rechazó la oferta, pero la idea cautivó al hermano menor de Bernard, y Kurt Vonnegut aprovechó la idea para su novela *Cuna de gato*.)

Como GE todavía andaba temeroso de las responsabilidades legales, Langmuir tuvo que buscar otro patrocinador de sus pruebas de campo. Por fin lo encontró en el ejército americano, que se asoció con él en el Proyecto Cirrus en 1947. El Proyecto Cirrus tenía varios objetivos, entre ellos el de aliviar los efectos de las sequías. Pero, por encima de todo, sus patrocinadores querían neutralizar huracanes, las tormentas más destructivas de la naturaleza. Este proyecto mostraría bien a las claras lo mejor y lo peor de Langmuir.

El plan para neutralizar huracanes requería una serie de observaciones y deducciones, con pasos secuenciales que se apoyaban cada uno en el anterior. Las observaciones comenzaron con la estructura de los huracanes, que básicamente son tormentas de viento centradas en torno a un ojo. Como bien se sabe, en el ojo reina la calma, pero la frontera entre el ojo y el resto de la tormenta (la llamada pared del ojo) es la parte más destructiva, con vientos que a menudo superan los 240 kilómetros por hora. Eso es mucha velocidad, y uno pensaría que un vórtice tan violento acabará por deshacerse a sí mismo; al fin y al cabo, todo lo que gira debe «sentir» una fuerza centrífuga que lo empuja hacia afuera, la misma fuerza que nos hace volar en un tiovivo si no nos cogemos con fuerza. Los huracanes no son ninguna excepción, y esta fuerza que tira hacia afuera amenaza con destrozarlos. Sin embargo, hay otra fuerza a tener en cuenta que se basa en las diferencias de presión. La pared del ojo está formada por aire a alta presión, mientras que el ojo contiene aire a baja presión, y como el aire siempre intenta fluir de la alta presión a la baja presión, esta segunda fuerza actúa *hacia el interior*, contrarrestando la fuerza centrífuga y manteniendo el huracán compacto. En otras palabras, pese a los violentos vientos que se desatan en el interior de los huracanes, estos se mantienen estables porque estas fuerzas se compensan.

Así pues, para el Proyecto Cirrus la tarea era simple: había que romper este equilibrio. La manera más fácil de conseguirlo, pensó Langmuir, era modificando la temperatura de los huracanes y permitiendo que la magia de la ley de los gases ideales\* hiciese el resto. Su plan era el siguiente. Unos pilotos

en unos robustos aviones se introducirían en la pared del huracán para sembrarlo con hielo seco o yoduro de plata. De acuerdo con lo comentado más arriba, estas sustancias químicas actuarían como semillas y forzarían el agua sobreenfriada que hubiera allí a transformarse en cristales de hielo. En una nube, por supuesto, esta transformación produciría lluvia. Dentro de un huracán, sin embargo, Langmuir perseguía algo distinto, un efecto secundario de la formación del hielo: la liberación de calor.

La transformación de agua en hielo siempre libera calor, algo que parece dicho del revés (¡el hielo es frío, no caliente!) pero que tiene sentido cuando se examina el proceso al detalle. Imaginemos un poco de hielo que se funde en la mano. ¿Por qué lo hace? Porque absorbe calor de su entorno. Por eso lo notamos frío, porque está chupando calor de nuestros dedos. Ahora pensemos en el proceso inverso, la congelación del agua en hielo. Si la fusión del hielo absorbe calor, por la simetría de la física el agua al congelarse debe, debe, debe liberar calor. No puede ser de otro modo. De hecho, por eso se forma hielo, pues para poder ordenarse en la estructura del hielo, las moléculas de agua tienen que frenar sus movimientos, y no pueden hacerlo sin expulsar calor hacia su entorno.

Esto se relaciona con los huracanes del siguiente modo. A medida que se forma hielo en la pared del ojo, el aire circundante absorbe el calor liberado. Al absorber calor, este aire debería expandirse de acuerdo con las leyes de los gases. Una vez se expande, la presión debería bajar, pues las moléculas de aire están más apartadas. Esto, a su vez, debería reducir las *diferencias* de presión entre el ojo y la pared del ojo. A consecuencia de ello, la fuerza hacia el interior que impide que se deshaga la tormenta debería reducirse, y así la fuerza centrífuga, hacia el exterior, ganaría la partida, ensanchando el ojo.

Ya casi estamos. Ensanchar el ojo no bastaría para que un huracán se desmoronara y se desvaneciera, pues son tormentas demasiado grandes para eso, pero sí reduciría la velocidad del viento. La razón de ello es que la velocidad de un objeto en movimiento depende de su anchura. Eso puede sonar un poco esotérico, pero todos lo hemos visto en el patinaje artístico. Cada vez que (póngase aquí el patinador que uno prefiera) da vueltas con los brazos recogidos (radio pequeño), gira deprisa, mientras que cuando abre los brazos, se frena. Lo mismo ocurre en los huracanes: cuando el ojo se ensancha,

giran más despacio. Y ensanchar el ojo es fundamental, puesto que la fuerza destructiva de un huracán depende del cuadrado de la velocidad del viento, de modo que una reducción de la velocidad del 10 por ciento reduciría la destrucción en casi un 20 por ciento. Bajar la velocidad del viento en una cuarta parte reduciría los daños en más de un 40 por ciento.

Resumiendo esta cadena de deducciones, lo que Langmuir propuso era sembrar los huracanes para crear hielo, liberando calor latente; esto, a su vez, ensancharía el ojo y reduciría el poder destructor de la tormenta. Solo faltaba ponerlo a prueba, y ahí es donde comenzaron los problemas.

El 13 de octubre de 1947, un huracán de poca magnitud llamado King atravesó Miami y comenzó a derivar hacia el noreste, camino del océano Atlántico. Como King ya parecía estar muriendo, los responsables de Cirrus decidieron sembrarlo al día siguiente. Un B-17 voló a su encuentro y dispersó por la pared del ojo unos 80 kilogramos de bolitas de hielo seco. Todo el mundo se sentó y esperó a que el ojo se ensanchara y King se colapsara. Sin embargo, la tormenta se hizo más fuerte y destructiva, y entonces, para horror de todos, hizo un giro imposible de 135° y comenzó a correr de vuelta a la costa. Unas horas más tarde la tormenta, fuera de control, se cebó en Savannah, en Georgia, causando daños por valor de 3 millones de dólares (32 millones actuales) y provocando la muerte de una persona.

Los científicos de Cirrus cruzaron los dedos, esperando que nadie se hubiera dado cuenta, pero un meteorólogo de Miami ató cabos y comenzó a liarla. Los periódicos no tardaron en denunciar el hecho como un «ruin truco yanqui» y a pedir la cabeza de Langmuir. Esto lo puso de nuevo en un aprieto. De un lado, quería demostrar que realmente podía influir en los huracanes; por otro lado, aceptar el crédito por esta tormenta podía cargarlo con una enorme responsabilidad civil. También se vería obligado a admitir que no tenía la menor idea de lo que estaba haciendo, ya que la tormenta se le había escapado. Jugar a ser Dios comenzaba a ser un incordio.

Con las investigaciones sobre los huracanes en el ojo de la polémica, Langmuir trasladó el Proyecto Cirrus al desierto de Nuevo México, donde había menos cosas que destruir y podía concentrarse en la simple generación de lluvia. Esto puede parecer una huida, pero Langmuir no tenía estómago para

la autocompasión ni lugar en su cabeza para dudar de sí mismo. Al contrario, los resultados que comenzaron a emerger de Nuevo México eran aún más fantásticos que sus pretensiones de controlar los huracanes.

En un ensayo de prueba, Langmuir afirmó que le habían bastado apenas 900 gramos de yoduro de plata, menos de un ridículo dólar, para exprimir de algunas nubes hasta 800.000 millones de litros de agua de lluvia. Cuando se le preguntó cómo era eso posible, cómo tan poco material podía producir tanta lluvia, Langmuir argumentó que había producido una reacción en cadena en las nubes, y comparó su trabajo con otro milagro de Nuevo México, el Proyecto Manhattan. Si acaso, decía, sus reacciones en cadena eran aún más potentes. América tenía, al parecer, un nuevo Rey de las Tormentas, y a medida que pasaban los meses iba arrogándose el crédito por tormentas no ya en Nuevo México, sino en todo Estados Unidos, y aun algunas en Europa. En su diario, Langmuir calificó aquello como el trabajo más importante de toda su carrera, lo cual es mucho decir para un hombre laureado con el premio Nobel. Langmuir acabó por dejar su trabajo en GE para dedicarse a tiempo completo a su «meteorología experimental».

Entre tanto, algunos meteorólogos profesionales se dedicaban a examinar a fondo los resultados obtenidos por Langmuir, y lo que hallaron los puso en guardia. Para empezar, todas las tormentas épicas que se atribuía se podían explicar de forma plausible por otra causa. La tormenta de 800.000 millones de litros en Nuevo México, por ejemplo, había coincidido con un frente que barría el estado desde el golfo de México. Aún peor era el hecho de que los experimentos de Langmuir carecían de controles, y que parecía seleccionar nubes que ya estaban maduras y que de todos modos era probable que produjeran lluvia. Cuando los meteorólogos realizaron sus propias pruebas independientes con controles apropiados y la siembra aleatoria de nubes, no encontraron prácticamente ninguna generación de lluvia.

Las mismas críticas generales se aplicaban al control de huracanes, que constantemente cambian de tamaño y dirección a su propio arbitrio, y que del mismo modo aumentan y disminuyen su intensidad, de manera que resultaba imposible determinar si era realmente la siembra lo que *causaba* los cambios que Langmuir la atribuía, o si todo se reducía a una coincidencia. De hecho, el Proyecto Cirrus se libró del procesamiento legal por el desastre de Savannah

en buena parte porque un meteorólogo con buena memoria rescató los informes de un huracán de 1906 que había hecho exactamente el mismo giro en el Atlántico.

El debate sobre la validez del Proyecto Cirrus se prolongó durante la mayor parte de la década siguiente. Los meteorólogos siguieron escudriñando los experimentos de Langmuir, pero fueran cuales fueran sus críticas, este siempre, siempre tenía una excusa, y su premio Nobel le garantizaba el beneficio de la duda entre los legos de la meteorología. También se defendía en conferencias públicas sobre el control del tiempo atmosférico, y al parecer era un gran orador, una dinámica mezcla de paternal seductor y autoridad científica. Tanto era así que, pese a que el Proyecto Cirrus finalizó en 1952 y Langmuir falleció en 1957, todavía logró despertar el suficiente entusiasmo por el control del tiempo que el gobierno de Estados Unidos inició en 1962 un nuevo programa para ampliar y extender el Proyecto Cirrus. Lo llamaron Proyecto Stormfury [furia de la tormenta].

Stormfury gozaba de un presupuesto multimillonario y disponía de varios aviones, y para hacer justicia a su estupendo nombre, los científicos de Stormfury desarrollaron nuevas estrategias para atacar las nubes. En lugar de lanzar las semillas a mano, los pilotos cargaban el yoduro de plata en contenedores de aluminio y lo disparaban con una ametralladora Gatling. *Ra-ta-ta-ta-tá*. Y en lugar de depender de una siembra de una sola pasada, diez aviones en formación circulaban alrededor del huracán durante una hora, llenando de plata la tormenta.

A caballo de estas investigaciones, los militares decidieron invertir en un proyecto distinto de control del tiempo atmosférico que, de manera más abominable, reconducía esta investigación al desarrollo de nuevas armas. La idea de la «guerra meteorológica» nació en realidad de otro proyecto militar, en Vietnam. En 1966, el ejército había gastado millones de dólares defoliando Indochina con el fin de mejorar la visibilidad durante las incursiones de los bombarderos. Algunos generales preferían hacerlo con el Agente Naranja, mientras que otros creían que los incendios de toda la vida funcionaban mejor. Sin embargo, en aquellos frondosos bosques, los incendios solían producir montañas de humo. Y, como James Espy habría pronosticado, la lluvia a menudo seguía a los incendios al cabo de uno o dos días. Claro está que

siendo aquello Vietnam, que en buena parte es selva *lluviosa*, la lluvia no era precisamente rara, y nadie se molestó en hacer ningún tipo de análisis estadístico para ver si realmente existía una correlación. En cualquier caso, las periódicas lluvias torrenciales implantaron una idea en la mente de algunos oficiales. Cada año, entre mayo y septiembre, las lluvias de los monzones barrían Vietnam, descargando en ocasiones hasta 500 milímetros en un mes. Aquellos chaparrones convertían las carreteras de barro en auténticas pistas resbaladizas, incluida la Ruta Ho Chi Minh, un conjunto de senderos que serpenteaban por varios países y eran esenciales para el Vietcong como vía de suministro. Lo que pensaron algunos oficiales americanos fue que si conseguían empeorar los monzones, podrían paralizar al enemigo durante varios meses al año. A este plan lo bautizaron Proyecto Popeye.

Cuando se le presentó el plan, el presidente Lyndon Johnson casi dio gritos de alegría, y Popeye se puso en marcha en 1967 con pasadas de aviones para sembrar nubes sobre Vietnam del Norte y Laos. El nuevo presidente, Richard Nixon, amplió el programa en 1969, convirtiéndolo en un proyecto apoyado por ambos partidos.

Por razones que siguen siendo poco claras, las fuerzas aéreas hicieron el sembrado con aviones inicialmente diseñados para llevar basura. En total, las tripulaciones de Popeye realizaron 2.602 vuelos y descargaron 47.409 tandas de yoduro de plata. Para ser justos, los danzantes de la lluvia militares tenían objetivos más modestos que Irving Langmuir, que se creía capaz de acabar con los huracanes para siempre y de convertir el desierto de Nuevo México en un vergel. Los militares solo pretendían extender las fatigas de los monzones unas pocas semanas más cada año y hacer más intensos los picos de precipitaciones. Eso habría bastado para embarrar las pistas, arrastrar con las aguas unos cuantos puentes, tal vez incluso provocar algunos desprendimientos de tierra con valor estratégico. Los oficiales también se congratulaban de llevar a cabo una forma de guerra más humana, puesto que empapar de agua al enemigo era sin duda mucho mejor que cubrirlos de napalm. (La consigna de Popeye era «Haz el fango, no la guerra».) Además, la siembra de nubes se podía mantener secreta. A no ser que el Vietcong tomara muestras de agua de lluvia para analizarlas y detectar la presencia de yoduro de plata, nunca lo sabrían.

Pero la pared de secretismo que rodeaba al Proyecto Popeye comenzó a agrietarse en 1971, cuando el *Washington Post* se hizo con una circular clasificada que lo mencionaba. Los Papeles del Pentágono,<sup>1</sup> que se filtraron aquel mismo año, también aludían al proyecto, y el *New York Times* hizo un reportaje sobre la guerra meteorológica en julio de 1972. Dos días más tarde, las fuerzas aéreas suspendieron toda la siembra de nubes en el sureste asiático. Pese a las continuas preguntas del Congreso y la prensa durante los años siguientes, las autoridades del Pentágono se negaron a explicar nada más. (Como un comentarista observó, con fina ironía, aquello invertía claramente la situación habitual: por fin alguien hacía algo sobre el tiempo, pero nadie hablaba de ello.)

Finalmente, en 1974 un obstinado senador por Rhode Island llamado Claiborne Pell logró convocar a varios oficiales del Pentágono a una audiencia. Pell estaba de acuerdo en que empapar de agua a la gente era más humano que bombardearlos, pero argumentaba que la siembra de nubes era una herramienta tan tosca que muchas de las inundaciones y desprendimientos de tierras afectarían a civiles tanto como a soldados. Luego preguntó a los oficiales del Pentágono acerca de una serie de inundaciones que habían devastado Vietnam del Norte en 1971. ¿Las había agravado la siembra de nubes? Los oficiales del Pentágono lo negaron, aduciendo que nunca habían generado la lluvia suficiente para provocar una inundación. Pero esa admisión solo sirvió para suscitar otras preguntas más importunas. Entonces, ¿cuánta lluvia adicional había producido el Proyecto Popeye? Unos cuantos milímetros al mes, a lo sumo, respondieron los oficiales. De hecho, dudaban que el Vietcong hubiera llegado a notar siquiera sus esfuerzos, pues es difícil notar la diferencia entre, pongamos por caso, 500 y 550 milímetros al mes. Pero entonces, siguió preguntando Pell, ¿por qué gastó el ejército 21,6 millones de dólares (130 millones actuales) si el programa no funcionaba? Algo había que hacer.

Probablemente no de manera casual, el apoyo que brindaba el gobierno al control del tiempo atmosférico se retiró después de que aquella información viera la luz. (Y a buena hora, pues más tarde se supo que algunos consejeros del Pentágono ya estaban presionando para extender la guerra meteorológica al más amplio y demencial ámbito de la «guerra medioambiental». Entre las

ideas que se barajaban estaban la de hacer un agujero en la capa de ozono sobre los países hostiles y la de desencadenar terremotos a distancia.) Técnicamente, el alboroto por el Proyecto Popeye no debería haber afectado al Proyecto Stormfury, que no tenía fines militares; los científicos solo pretendían aliviar sequías y calmar huracanes, unos objetivos mucho más nobles. Sin embargo, Stormfury quedó manchado por asociación y cayó en descrédito. No ayudó mucho el hecho de que el creciente movimiento ambientalista de la década de 1970 hiciera que manipular la meteorología pareciera vanidoso, si no inmoral: después de miles de millones de años de práctica, la Madre Naturaleza probablemente supiera lo que hacía mejor que nosotros.

Política aparte, el apoyo por el control de la meteorología probablemente también se debilitara simplemente porque no acababa de funcionar. Los científicos solo creen que se puede hacer cosas sencillas como disipar la niebla de un aeropuerto o exprimir un poco más de lluvias de ciertos tipos de nube. No obstante, desde un punto de vista científico, el esfuerzo no fue vano: los meteorólogos aprendieron mucho de los datos que obtuvieron. Lamentablemente, mucho de lo que aprendieron socavaba los fundamentos de sus experimentos. En el caso de los huracanes, por ejemplo, los científicos habían contado con que la interacción entre el yoduro de plata y el agua sobreenfriada liberase calor, pero sus datos revelaron que en realidad los huracanes contienen muy poca agua sobreenfriada. Esto implicaba que, a diferencia de las nubes, el yoduro de plata no tenía materia prima con la que iniciar las reacciones químicas en cadena. El comportamiento dramático que en ocasiones observaban después de sembrar un huracán probablemente no fuese más que una coincidencia.

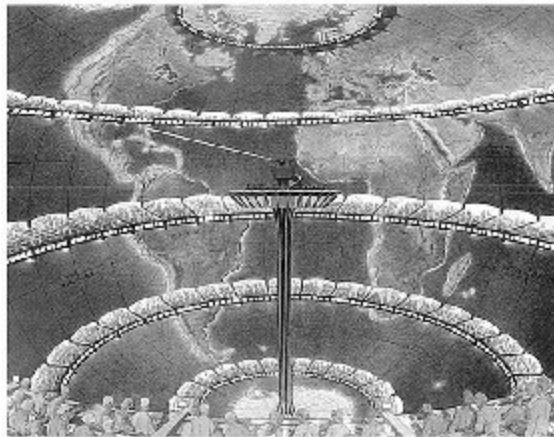
En las décadas que han transcurrido desde Popeye y Stormfury, los sueños de controlar el tiempo atmosférico nunca han acabado de desvanecerse. En 1986, la Unión Soviética sembró hasta la saciedad cualquier nube que pasara por encima de Chernóbil con el propósito de vaciarlas antes de que llegasen a Moscú y bombardearan a la población de la capital con su lluvia radiactiva. De manera parecida, el servicio meteorológico chino supuestamente ametralló hasta la última nube de los alrededores de Pekín en el verano de 2008 para asegurarse un cielo despejado durante los Juegos



Olímpicos. La mayoría de los meteorólogos, sin embargo, siguen viendo esos programas con malos ojos, e insisten sobre todo en que no podemos hacer prácticamente nada para frenar los huracanes y otras tormentas violentas. Esta es una verdad esencial y dura de aceptar, porque equivale a admitir lo vulnerables, impotentes e indefensos que somos. Al final, no se puede engañar a la naturaleza: la atmósfera es mucho más poderosa de lo que podemos comprender.

Durante su vida, Irving Langmuir habló con gran elocuencia sobre nuestro deber de controlar la meteorología, y su carisma atrajo a miles a su causa. Pero para mí, la verdad más profunda que resume varias décadas de investigaciones sobre el control del tiempo atmosférico la pronunció un simple piloto de Stormfury: «Era decepcionante aceptar que no podíamos hacerlo», diría años más tarde. «Pero las tormentas eran tan grandes, y nosotros tan pequeños.»

A medida que se disipaban las esperanzas de controlar fenómenos atmosféricos, los meteorólogos se consolaron con su creciente capacidad para predecir el tiempo. De hecho, tras la llegada de las primeras computadoras y satélites meteorológicos a mediados del siglo XX, tenían más razones que nunca para el optimismo. Cada día, y de muchas maneras distintas, la previsión del tiempo se hacía cada vez mejor. Lo que los meteorólogos no sabían (no podían saber) era que las mismas computadoras que los llenaban de esperanzas no tardarían en girarse contra ellos al demostrar que no era posible realizar previsiones del tiempo precisas.



Impresión artística de la Fábrica de Previsión del Tiempo de Richardson. (© François Schuiten.)

*El centro de previsión del tiempo de Lewis Fry Richardson, del tamaño de un estadio de fútbol, usaba «computadoras» humanas para predecir el tiempo atmosférico.*

Los meteorólogos comenzaron a usar computadoras a principios del siglo XX, cuando la palabra «computador» significaba «un bobo con una regla de cálculo que pasaba el día echando cuentas», o sea, literalmente, alguien que computa. La idea de usar computadoras<sup>2</sup> para la previsión del tiempo tuvo su origen en el matemático inglés Lewis Fry Richardson, quien concibió un grandioso plan para el centro de previsión del tiempo definitivo. Este consistiría en una suerte de cúpula esférica de varios pisos de altura dentro de la cual se sentarían las computadoras en filas. La superficie interior de la cúpula estaría pintada con un mapa del mundo, con el Ártico en lo más alto y la Antártida en la base, y día tras día las computadoras de Richardson examinarían listas de números y calcularían datos. Los cálculos se basarían en siete ecuaciones que Richardson usaba para modelar la atmósfera, y cada trabajador se centraría en un aspecto concreto del tiempo atmosférico de alguna parte específica del mundo, por ejemplo siguiendo las fluctuaciones de humedad en Mongolia Interior una y otra vez. Al final, cada computadora enviaría sus datos mediante tubos neumáticos hasta una controladora maestra situada en el centro, sobre un pilar panóptico, y se encargaría de sintetizar todos los datos en una omnisciente previsión para el globo.

Richardson estimó que necesitaría 64.000 computadoras para proporcionar previsiones a tiempo real, lo que nos lleva a imaginar todo un estadio de la liga de fútbol lleno de personas echando números y murmurando. Pero para demostrar que la idea funcionaba, al menos en teoría, Richardson ejecutó una prueba piloto en 1916. Hizo su trabajo en las peores circunstancias posibles, mientras era conductor de ambulancias en Francia durante la primera guerra mundial. Los cuarenta y cinco miembros de su unidad pasaban la mayoría de las mañanas, tardes y noches sacando soldados destrozados de entre el fango para llevarlos hasta unos hospitales en los que, en la mayoría de los casos, acababan muriendo de todos modos; en conjunto, transportaron setenta y cinco mil pacientes durante la guerra. Richardson

echaba cálculos de previsión del tiempo para mantener la cordura. Disponía sus papeles sobre un escritorio de balas de paja y trabajaba hasta tener la mente embotada. Los otros conductores lo llamaban Profesor.

Los cálculos de prueba de Richardson se centraron en un día de seis años atrás, el 20 de mayo de 1910. Este había sido uno de los llamados Día del Globo en Europa, cuando cientos de meteorólogos habían lanzado globos y cometas para recoger datos de todo el continente. Sus esfuerzos proporcionaron a Richardson información precisa, hora a hora, del estado de la atmósfera durante todo aquel día, lo que le permitió contrastar sus cálculos teóricos frente a la realidad. (El 20 de mayo también coincidió con el regreso del cometa Halley; en definitiva, un glorioso y despreocupado día de ciencia y camaradería internacional que, desde las trincheras francesas, debió parecerle a varias vidas de distancia.) Incluso restringiéndose a un solo día, los cálculos lo sobrepasaron, así que estrechó el cerco centrándose en una sola variable de sus siete ecuaciones: la presión del aire entre las 4:00 y las 10:00 de la mañana en una pequeña parcela del norte de Baviera. Aun así, el trabajo le llevó semanas, si no meses, y estuvo a punto de tener que comenzar de nuevo cuando en la batalla de Champagne perdió su cuaderno de notas. (Más tarde, alguien lo encontró bajo una pila de carbón.) ¿Y qué ganó el Profesor tras tantos esfuerzos? Básicamente nada. Aparte de llegar seis años más tarde, su «previsión» ni siquiera se acercaba. De acuerdo con sus números, aquella mañana los barómetros de Baviera deberían haber registrado una gran caída de la presión. En realidad, apenas se habían movido. Merece la pena reseñar que, no obstante, Richardson publicó un informe completo de su fracaso en 1922.

Por vanos que parezcan los esfuerzos de Richardson, la siguiente generación de meteorólogos no tardó en olvidar la moraleja de la historia y se lanzaron a desarrollar sus propias ideas para la previsión del tiempo. Se entusiasmaron sobre todo con la entrada en escena de las computadoras digitales (los auténticos aparatos electrónicos) durante la década de 1940. De hecho, una autoridad nada menos que del calibre de John von Neumann, el artífice de las primeras computadoras electrónicas, declaró que ENIAC y otros dispositivos por el estilo eran ideales para la previsión del tiempo. ¡Esta es la nuestra!

Uno de los primeros en adoptarlas fue Edward Lorenz, que había obtenido un grado en matemáticas en 1938 pero no cogió la fiebre de la meteorología hasta después de pasar una temporada haciendo previsiones del tiempo para el ejército, durante la segunda guerra mundial. Aquello lo fascinó, y a principios de la década de 1960 consiguió un trabajo en el departamento de meteorología del MIT. Allí estudió modelos físicos de la atmósfera, entre ellos los llamados experimentos de fregadero. Estos consistían en remover el agua de un plato llano con un lápiz hasta que el fluido rompiera en remolinos y vórtices, un fenómeno conocido como turbulencia.\* Sorprendentemente, los experimentos de fregadero suscitaron algunas ideas sobre el movimiento turbulento de los frentes atmosféricos. En cualquier caso, la metodología era bastante rudimentaria, y Lorenz confiaba en que las computadoras le proporcionasen resultados más sofisticados.

Todo el mundo sabe lo gigantescas y lentas que eran aquellas viejas máquinas, y hoy en día los electrodomésticos de la cocina tienen más memoria que las computadoras centrales que llevaron a Neil Armstrong a la Luna. Lo que no suele oírse tanto es lo ruidosas y poco fiables que eran. Lorenz trabajó con un aparato llamado Royal McBee LGP30, que zumbaba como un motor y se estropeaba al menos una vez a la semana. Su aparatoso marco de metal ocupaba casi toda su oficina (peor que meter allí un armario ropero) y sus tubos de vacío bombeaban unas tremendas cantidades de calor. Cuando McBee estaba en marcha, la previsión local siempre era de tiempo cálido y bochornoso.

Lorenz quería estudiar patrones globales del tiempo en el McBee de manera parecida a lo que había propuesto Lewis Fry Richardson, aunque con doce ecuaciones en lugar de siete. Pero mientras que Richardson se había ceñido a datos reales, Lorenz dejó volar su imaginación. Básicamente inventó su propio pequeño mundo donde podía alterar la temperatura, la presión y la velocidad del aire a voluntad, como un semidiós. Entonces ponía todo en marcha y observaba la evolución del estado atmosférico día a día a lo largo de meses o años virtuales. Para cualquiera de nosotros, los resultados de aquellas simulaciones habrían sido inescrutables. Estamos acostumbrados a los mapas del tiempo de la televisión, con manchas rojas o azules y dibujos de nubes.

Lorenz solo obtenía tablas de datos impresas, pero mentalmente podía transformar aquellos números en lluvia o sol mientras los ojeaba, como un músico que lee marcas y puntos sobre un papel pero escucha una sinfonía.

Una mañana de invierno de 1961, Lorenz volvió a examinar una simulación que había ejecutado un poco antes. Mostraba un comportamiento interesante, y quería extender la ejecución durante más tiempo para ver qué más aparecía. Sin embargo, en lugar de volver a ejecutar la secuencia completa y arriesgarse a una fusión del núcleo de McBee, tomó un atajo y comenzó por la mitad. Escogió una línea de números del listado que tenía (la fila que comenzaba con 0,506 le pareció bien), entró las cifras y salió a buscar un café mientras McBee zumbaba.

Lorenz regresó una hora más tarde y se sentó a estudiar el listado meteorológico. Desde el primer momento le pareció extraño. Dado que pretendía repetir una parte de la ejecución anterior, esperaba ver números idénticos línea a línea en el principio. En su lugar, cuando comparó la primera y la segunda ejecución vio que los números divergían. Al principio ocurría de forma lenta, pero con cada paso las diferencias se iban haciendo más y más pronunciadas. Al poco ya no podía ignorarlas. Era como uno de esos días locos de marzo en los que hace 24 °C y está soleado al mediodía y a las dos de la tarde cae una ventisca: así de diferentes eran las ejecuciones.

Lorenz refunfuñó. Los mismos datos de partida, las mismas ecuaciones, resultados distintos. Eso solo podía significar una cosa: un corte en el circuito. Así que como un padre gruñón que el día de Navidad tiene que revisar una ristra completa de luces del árbol por culpa de una sola bombilla mala, Lorenz y un técnico tendrían que pasar las siguientes horas revisando hasta el último relé y el último interruptor del McBee.

Pero antes de echar a perder la tarde, Lorenz decidió pensar un momento, y no tardó en darse cuenta de algo. Para ahorrar en memoria, las antiguas computadoras a menudo truncaban los números. (¿Quién no se acuerda del problema del año 2000?) El McBee trabajaba con seis posiciones decimales en su memoria interna, pero cuando imprimía los números, los redondeaba a tres. Así pues, aunque Lorenz había entrado 0,506 para iniciar una nueva ejecución, el valor real en aquel punto había sido 0,506127. ¿Podía eso explicar la divergencia?

Lorenz lo dudaba. Aquella diferencia no era de más de una parte en cinco mil, tan solo 0,02 por ciento. ¿Cómo podía una fracción tan minúscula, un error de redondeo, dar al traste con toda una simulación? Pero cuando volvió a revisar los números, Lorenz comenzó a dudar de su duda. Daba la impresión de que realmente aquella minúscula desviación en el principio había dominado sobre los resultados finales.

Para el modo de pensar tradicional, aquello no tenía ningún sentido. En cualquier sistema que se comporte bien, unas entradas prácticamente idénticas deberían producir salidas prácticamente idénticas. Imaginemos, por ejemplo, que dejamos caer una manzana y miramos cómo cae al suelo. Si la recogemos, sacamos una navaja y cortamos un 0,02 por ciento de su peso, no esperaremos que de repente la manzana se quede suspendida en el aire la próxima vez que la dejemos caer. Básicamente es la misma manzana, y debería comportarse del mismo modo. En cambio, en el universo de Lorenz, el 0,000127 que había cortado lo había cambiado todo. De algún modo, después de pasar por el estrés de sus doce ecuaciones, aquella parte en cinco mil se había hinchado hasta el punto de cambiar el tiempo completamente. La interacción entre todas aquellas ecuaciones hacía que el resultado fuese caótico.

Aunque intrigado, Lorenz se recordó a sí mismo que aquello seguía siendo solamente una simulación y podría no tener nada que ver con el tiempo atmosférico real. Sin embargo, cuantas más vueltas le daba a aquel mal comportamiento, más profundo le parecía. Por aquel entonces, los meteorólogos no paraban de jactarse de que el próximo McBee o el próximo satélite meteorológico harían posible la predicción del tiempo precisa. Pero tal vez aquello no fuese más que una bobada. Tal vez analizar más datos no ayudase. Tal vez simplemente había demasiadas variables a tener en cuenta. Tal vez la turbulencia y la impredecibilidad fuesen características intrínsecas de la atmósfera.

Lorenz al principio le quitaba hierro a sus sospechas, limitándose a bromear con sus colegas que al menos ahora tendrían una excusa por no haber acertado con la previsión del tiempo del noticiario de las seis. En el fondo, sin embargo, sentía un escalofrío de emoción, y decidió seguir pensando sobre la cuestión. Aquello le llevó a extraños lugares; tanto, que a los pocos meses ya no estaba seguro de si lo que hacía era todavía matemáticas o ciencia. No

demostraba teoremas tal como hacen los matemáticos, solo seguía tendencias en tablas de datos. Pero tampoco eran datos reales, de experimentos científicos reales, solo simulaciones realizadas con McBee. Como su trabajo era tan extraño, Lorenz tenía problemas para publicarlo. Tuvo que recurrir a veces al subterfugio, por ejemplo incrustando párrafos vacíos sobre la previsión del tiempo en sus artículos cuando lo que realmente le interesaba era la matemática subyacente. Aun así, a menudo se decidía por publicaciones oscuras, como las revistas de meteorología suecas. No es ahí precisamente donde se espera que publique todo un profesor del MIT.

Poco a poco, sin embargo, y a medida que los modelos de previsión iban fracasando durante la década de 1960, Edward Lorenz encontró su público. Formó parte de la junta de asesores del Proyecto Stormfury, y su creciente escepticismo sobre la predicción del tiempo (por no hablar del control del tiempo) casi con certeza ayudó a poner fin a aquel programa. En la década de 1970 se produjo por fin un punto de inflexión, y las ideas de Lorenz sobre la naturaleza caótica del tiempo atmosférico pasaron a ser ortodoxia. El propio Lorenz se hizo un inmenso favor al destilar sus ideas en una de las metáforas más cautivadoras del siglo. Apareció por primera vez en el título de un artículo que escribió en 1972, «Predecibilidad: ¿puede el aleteo de una mariposa en Brasil desencadenar un tornado en Texas?». Hoy llamamos efecto mariposa a la tendencia a que diferencias pequeñas e irrelevantes estallen en complejidad y se conviertan en algo realmente relevante.

Otros científicos y matemáticos ampliaron el trabajo de Lorenz en la década de 1980, y hoy lo reconocemos como un pionero de lo que se conoce como teoría del caos, una disciplina cuyo ámbito de aplicación se extiende mucho allá de la meteorología. Se puede usar la teoría del caos para trazar las formas de montañas y deltas fluviales, para explicar por qué las aguas residuales que fluyen por tuberías de repente se tornan turbulentas, para reproducir las subidas y bajadas en diente de sierra de los precios de bienes comerciales, incluso para predecir cuándo se desmadrarán los dinosaurios de ingeniería genética de un parque temático. Todas estas cosas parecen superficialmente dispares, pero todas comparten unas similitudes subyacentes, entre ellas la tendencia a pasar de tener un buen comportamiento a tener un mal comportamiento en menos de lo que tarda el corazón en dar un latido (algo

que, por cierto, también a veces es un fenómeno caótico). Dado su increíble alcance, algunos historiadores han propuesto la teoría del caos como uno de los tres grandes avances científicos del siglo pasado, junto a la relatividad y la mecánica cuántica. Si ese juicio se sostiene, quizá algún día nuestros descendientes hablen en una misma frase de un funcionario de patentes llamado Einstein y de un hombre del tiempo llamado Lorenz.

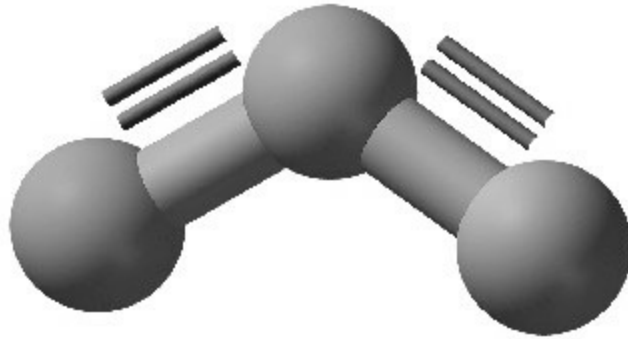
Con independencia del lugar que acabe ocupando en la historia, la teoría del caos puso de manifiesto la futilidad de intentar predecir el tiempo de un modo ni siquiera remotamente preciso. Pero tampoco hay que subestimar a los meteorólogos. Los fantásticos nuevos satélites y supercomputadoras pueden (por lo general) acertar con la previsión del tiempo con unos pocos días de antelación, un periodo de tiempo crucial no solo para planificar un pícnic sino para advertirnos de la llegada de tormentas mortíferas. (Es gracias a los meteorólogos que actualmente la probabilidad de morir a causa de un huracán es un 1 por ciento de lo que era en 1900.) Pero las previsiones a una semana vista ya son más dudosas, y las previsiones al estilo de *Poor Richard's*,<sup>3</sup> que pretenden prever el tiempo con meses de antelación, son poco mejores que las que pueda ofrecernos un adivino. Podemos predecir eclipses con décadas de antelación, pero cuando se trata del tiempo atmosférico, sencillamente hay demasiadas bolsas de aire colisionando con demasiados obstáculos en la superficie de la Tierra como para poder seguirlos a todos. Dicho de otro modo, hay demasiadas mariposas aleteando y desencadenando tornados.

Por primera vez en este libro, pues, nuestras viejas y fiables leyes de los gases se quedan cortas. Siguen proporcionando un marco sólido y veraz para muchas cosas, desde el vuelo de los globos de aire caliente al enfriamiento de una nevera. Y funcionan razonablemente bien a la hora de explicar muchas características básicas del tiempo atmosférico, como el papel del vapor de agua. En último término, sin embargo, el flujo y reflujo de gases alrededor de un planeta en rotación se torna tan demencial que las simples, hermosas y ordenadas relaciones de volumen, temperatura y presión no dan abasto y se quedan, por así decirlo, sin aire. Antes de que nos demos cuenta, lo que había de ser una agradable brisa estival se retuerce, turbulenta, y las algodonosas nubes blancas que flotan sobre nuestras cabezas adoptan un tono siniestro. El caos siempre gana.



Lorenz no fue, desde luego, la primera persona que comprendió lo complicado que es el tiempo atmosférico; Lewis Fry Richardson ya se lo podía haber dicho. Pero Lorenz logró que nos enfrentásemos al hecho de que tal vez nunca podamos levantarnos el velo de la ignorancia, que por mucho que miremos al ojo de un huracán, quizá nunca lleguemos a entender su alma. A largo plazo, eso podría ser incluso más difícil de aceptar que nuestra incapacidad para domar las tormentas. Hace tres siglos nos pusimos el nombre de *Homo sapiens*, el mono sabio. Nos regocijamos en nuestra capacidad de pensar, de conocer, y el tiempo atmosférico parecía estar a nuestro alcance; al fin y al cabo, no es más que bolsas de aire frío y caliente. Pero haríamos bien en recordar la etimología: *gas* viene de *caos*, y en la mitología clásica, el caos era algo que ni siquiera los inmortales podían domeñar.

## Interludio. Rumores desde Roswell



*Ozono ( $O_3$ ), actualmente 0,1 partes por millón cerca del suelo, donde inhalamos 1.000 billones de moléculas con cada aliento; más de una parte por millón en la estratosfera (¡donde nadie debería estar respirando el aire!).*

Además de usar computadoras, los meteorólogos del siglo pasado le sacaron partido a una nueva tecnología, los globos sonda, para explorar el funcionamiento de la atmósfera, especialmente en las capas más altas. E igual que con las computadoras, los proyectos basados en aquellos globos meteorológicos condujeron a nuevos descubrimientos sobre cómo funciona el aire, pero también, en un caso memorable, causaron no poco bochorno a los científicos que los manejaban desde el suelo.

Todo comenzó una mañana de octubre de 1947, cuando un capataz de rancho llamado Mac Brazel encontró un rastro de fragmentos de metal y plástico después de una tormenta. Brazel no tenía la menor intención de encender medio siglo de histeria y teorías conspiratorias, solo quería mantener su rancho limpio, de modo que en lugar de dejar aquellos fragmentos esparcidos y arriesgarse a que las ovejas se dedicasen a mordisquearlos, los recogió, los guardó en un cobertizo y se olvidó de ellos.



*Algunos de los fragmentos que Mac Brazel (no mostrado en la imagen) descubrió en el rancho. (Fotografía por gentileza de la colección Fort Worth Star-Telegram, colecciones especiales de la Universidad de Texas, en la biblioteca Arlington.)*

Sin embargo, cuanto más pensaba en aquellos fragmentos, más le intrigaban. Trabajaba en un rancho cercano a unas cuantas bases militares de Nuevo México, y los científicos de los alrededores siempre andaban lanzando misiles y globos sonda que acababan estrellándose contra el suelo en las tierras de cualquiera. Pero aquello era distinto. El impacto había dejado unos surcos profundos en la tierra, algo que parecía imposible que hubiera hecho un globo blando. Además, los fragmentos de plástico y metal no parecían material propio de un globo. Pero lo más inquietante era que entre los restos había unas vigas cortas de madera con unos signos morados que parecían una escritura, solo que no se trataba de ninguna escritura terrestre que él pudiera reconocer.

Unos días más tarde, Brazel les mostró los restos a sus vecinos. Estos, a su vez, le contaron algunos rumores que habían oído recientemente sobre objetos voladores no identificados cerca de sus tierras. Aquello dejó a Brazel

tan atemorizado que el 7 de julio fue a visitar al sheriff más cercano, en Roswell, a unos 120 kilómetros de distancia. El sheriff, por su parte, se puso en contacto con oficiales de una base de las fuerzas aéreas cercana.

Cuando llegaron los oficiales de la fuerza aérea, examinaron los fragmentos e intentaron reconstruir el objeto; no tardaron en darse por vencidos, perplejos. También intentaron cortar los trozos de metal con un cuchillo que les ofreció Brazel y quemar los fragmentos con cerillas, pero no lograron ni lo uno ni lo otro. Finalmente, examinaron los signos morados, a los que comenzaron a llamar «jeroglíficos». Entonces decidieron confiscar todos los restos.

Gracias a Brazel, para entonces la rueda de los rumores llevaba varios días girando sin parar. Para colmo, en lugar de mantener la discreción, las fuerzas aéreas hicieron un comunicado de prensa espectacularmente ridículo en el que afirmaban que «los rumores sobre un “platillo volante” se hicieron realidad ayer». Un periódico publicó un reportaje que venía a afirmar lo mismo. Es cierto que expresiones como «platillo volante» u «objeto volador no identificado» tenían entonces significados más neutros, pero la imaginación de la gente no tardó en dotarlas de significados muy específicos.

Toda aquella chismería podía haberse quedado en nada de no ser porque algunos oficiales de alto rango de las fuerzas aéreas intervinieron para exigir que se retractara el comunicado de prensa; uno de ellos incluso se dedicó a visitar los periódicos y emisoras de radio de la zona para arrebatárles las copias en papel. Consiguieron así que hasta los más escépticos comenzasen a considerar en serio la posibilidad de una conspiración. ¿De qué tenía miedo la fuerza aérea? ¿Qué escondían? La gente se tornó aún más suspicaz cuando la fuerza aérea insistió en que todos los fragmentos provenían de un globo sonda, obviamente una patraña. De hecho, hoy podemos decir con seguridad que las fuerzas aéreas mintieron al respecto: lo que Brazel halló no era un globo sonda. Lamentablemente, lo que los militares *ocultaban* no era lo que probablemente algunos esperaban, salvo que se tratase de aficionados al espionaje con un conocimiento bastante esotérico de la atmósfera.

El fiasco de Roswell comenzó con un terrícola llamado Maurice Ewing, un geofísico de la Universidad de Columbia que trabajaba bajo contrato del ejército. Como cualquier fogoso americano de la época, Ewing temía la

posibilidad de que la Unión Soviética consiguiera la Bomba. Pero en aquellos días, antes de los satélites y los detectores de lluvia radiactiva, no teníamos la menor idea de qué se llevaban entre manos los soviéticos, así que Ewing comenzó a pensar en otras maneras de espiar a los Rojos hasta que dio con una forma de detectar las explosiones atómicas a distancia suspendiendo micrófonos en una región de la atmósfera conocida como canal de sonido, que se encuentra aproximadamente a 15 kilómetros de altura.

Para entender la idea de Ewing, hay que saber tres cosas sobre el sonido. La primera, que se mueve más deprisa en el aire caliente que en el frío. Es así porque el sonido depende de la colisión entre moléculas, como las bofetadas que se pasan uno a otro los payasos. Cuando alguien habla, las moléculas de aire que salen de su boca chocan contra otras moléculas de aire cercanas, y estas se ven empujadas contra otra capa de moléculas, y estas contra una tercera y así sucesivamente hasta que el ruido choca con nuestro oído.\* Lo importante aquí es que cuando la temperatura es alta, las moléculas se mueven más deprisa que cuando la temperatura es baja, y como el sonido es esencialmente una carrera de relevos de moléculas de aire, las rápidas moléculas del aire caliente pueden transmitir sonidos más deprisa: en el aire a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el sonido viaja a 1.156 kilómetros por hora; a  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la velocidad se dispara hasta los 1.242.

La segunda cosa que hay que saber es que el sonido no siempre sigue líneas rectas; en ciertas circunstancias, se desvía. En concreto, si hay capas de aire caliente y de aire frío, las ondas de sonido siempre se desvían hacia la capa más lenta, hacia el aire frío. Esta desviación se conoce como refracción.

Para ver la refracción en acción, imaginemos un músico que toca una trompeta desde el fondo de un estadio de deporte cubierto. Imaginemos también que los sistemas de aire acondicionado del estadio no dan abasto para mantener el lugar frío, de modo que hay una buena capa de aire frío cerca del techo, pero el campo está bañado en aire caliente. A causa de la desviación producida por la refracción, las notas que salen de la trompeta se doblan hacia arriba, en dirección al aire frío. Eso significa que una persona situada en el extremo opuesto del estadio tendrá problemas para oírlas porque el sonido pasará por encima de su cabeza. Al contrario, imaginemos un partido en invierno. Ahora es la calefacción del estadio la que no da abasto y deja el

espacio con una capa de aire caliente en lo alto y aire frío debajo. En este caso, las notas de la trompeta podrían comenzar a subir, pero enseguida se desviarían hacia abajo, hacia el suelo, por lo que sería fácil oírlas. Una vez más, el sonido se desvía hacia el aire más frío.

La tercera cosa sobre el sonido tiene que ver con el perfil de temperatura de la atmósfera. Todos sabemos que el aire se enfría a medida que subimos, lo que explica que las cimas de las montañas, aunque estén en el ecuador, puedan estar cubiertas de nieve. Hacia los 14.000 metros, la temperatura del aire baja hasta  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , frenando la velocidad del sonido hasta 1.080 kilómetros por hora. Y como cabe esperar, los ruidos en la atmósfera tienden a desviarse hacia este aire frío. Así se explica que los primeros aeronautas pudiesen oír ladridos de perros o cantos de gallo con tanta claridad: la atmósfera encauzaba los ruidos hacia ellos.

Pero el aire se enfría al ir ascendiendo solo hasta cierto punto, y ese punto se da a los 18.000 metros de altura, donde comienza a aparecer el ozono. El ozono absorbe la luz ultravioleta que, de otro modo, nos dejaría el ADN hecho un cisco; sin el ozono, la vida nunca habría logrado salir del océano a las tierras emergidas. Al absorber la luz ultravioleta, el ozono se calienta. Si pudiéramos recoger todo el ozono de la atmósfera y prensarlo, formaría un envoltorio de apenas tres milímetros. Sin embargo, absorbe la luz ultravioleta tan bien que basta esa minucia de gas para calentar el aire a 46 kilómetros de altura hasta unos agradables  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Así pues, nuestro aire conforma una especie de emparedado de temperatura, con dos capas de aire caliente (una cerca del suelo, la otra a unos 46 kilómetros), y una rebanada de aire frío entre las dos.



*El tristemente célebre titular del «platillo volante» en el Roswell Daily Record del 6 de julio de 1946.*

Y aquí viene lo bueno: este perfil de temperatura lanza el sonido a un viaje muy movidito. Imaginemos que un cazador en el suelo dispara su escopeta. De acuerdo con lo que acabamos de discutir, ese sonido ascenderá, desviándose hacia arriba en el aire frío de las capas superiores. Pero ocurre que el sonido no se para al alcanzar esa capa, sino que lleva impulso y sigue ascendiendo. Después de atravesar la capa fría a 14.000 metros, el sonido inevitablemente chocará con el aire calentado por el ozono que hay encima. Y como el sonido siempre se desvía alejándose del aire caliente y dirigiéndose al aire frío, en este punto el ruido del disparo dará un suave giro en U y comenzará a caer como una flecha. En otras palabras, el ozono invierte la dirección del sonido, como si rebotara en una pared.

Lo que ocurre a continuación es aún más extraño. Tras comenzar a caer, el sonido todavía lleva un buen impulso, de manera que atraviesa la capa fría de los 14.000 metros, camino del suelo. Pero ¿qué ocurre a medida que se acerca al suelo? Que se encuentra con una capa de aire caliente, y como el sonido (repitámoslo una vez más) se desvía alejándose del aire caliente y en dirección al aire frío, la mayor parte de la energía del sonido volverá a dar la vuelta y comenzará a subir. Pero esto, naturalmente, lo envía de nuevo contra aquella capa de aire calentado por el ozono, girando una tercera vez y dirigiéndose de vuelta al suelo. Seguirá descendiendo hasta topar con el aire caliente cerca del suelo, y entonces rebotará de nuevo hacia el cielo. En otras palabras, el sonido queda atrapado en un bucle. No para de subir y bajar, subir y bajar, oscilando alrededor de esa capa de aire frío. Por eso esa capa se conoce como canal de sonido, porque el sonido es arrastrado hacia ella y luego no puede salir.

Conviene advertir, sin embargo, un par de cosas sobre el canal de sonido. En primer lugar, solo los sonidos bastante intensos tienen la energía suficiente para subir tanto y quedarse atrapados. Así que las dulzuras que uno haya murmurado por la noche al oído de alguien no andan rebotando por la estratosfera, gracias a Dios. Más aún, después de su primer giro en el cielo, los ruidos más intensos\* a veces conservan la energía e impulso suficientes para atravesar la capa de aire caliente cerca del suelo y llegar a oídos de

quienes estén allí. Ya lo vimos en el caso del monte Santa Helena. Recordemos que quienes estaban cerca de la erupción no oyeron nada, mientras que quienes se hallaban más lejos quedaron aturdidos, y eso se debe a que el estallido inicialmente ascendió hacia el aire más frío, pasando por encima de las cabezas de quienes estaban cerca y creando una «sombra de sonido» de unos 100 kilómetros de anchura. Pero entonces el sonido se desvió y hundió en la capa de aire caliente, lo que permitió que quienes estaban más lejos lo oyeran. Algo parecido ocurrió con la bomba atómica de Hiroshima. Los supervivientes que estaban cerca del epicentro hablaban de *pika*, destello, mientras que quienes estaban más lejos decían *pika-don*, destello y estallido.

Maurice Ewing fue quien primero descifró la física del canal de sonido en 1944.\* Parecía poco más que una curiosidad, pero entonces se dio cuenta de algo. Entendía lo que ocurría con los sonidos que tenían su origen por encima o por debajo del canal: eran encauzados hacia él. Pero ¿qué ocurría con los sonidos que tenían su origen *dentro* del canal? ¿Cómo se comportarían?

Consideremos una vez más el caso del disparo de escopeta, pero esta vez a 14.000 metros de altura, en el punto más bajo de la temperatura. Como todos los sonidos, no importa donde tengan su origen, el ruido de este disparo al principio se extiende en todas las direcciones, y al extenderse de este modo, los sonidos normalmente se disipan, se debilitan. Pero a esta altura concreta ocurre algo insólito. No importa en qué dirección vayan las ondas de sonido, hacia arriba o hacia abajo, siempre se encuentran con aire más caliente y son desviadas hacia el centro. En consecuencia, el sonido que se origina dentro del canal de sonido no se dispersa mucho, lo que significa que no se debilita, y por lo tanto se puede oír desde una distancia mucho mayor de lo habitual. A todos los efectos, queda amplificado.

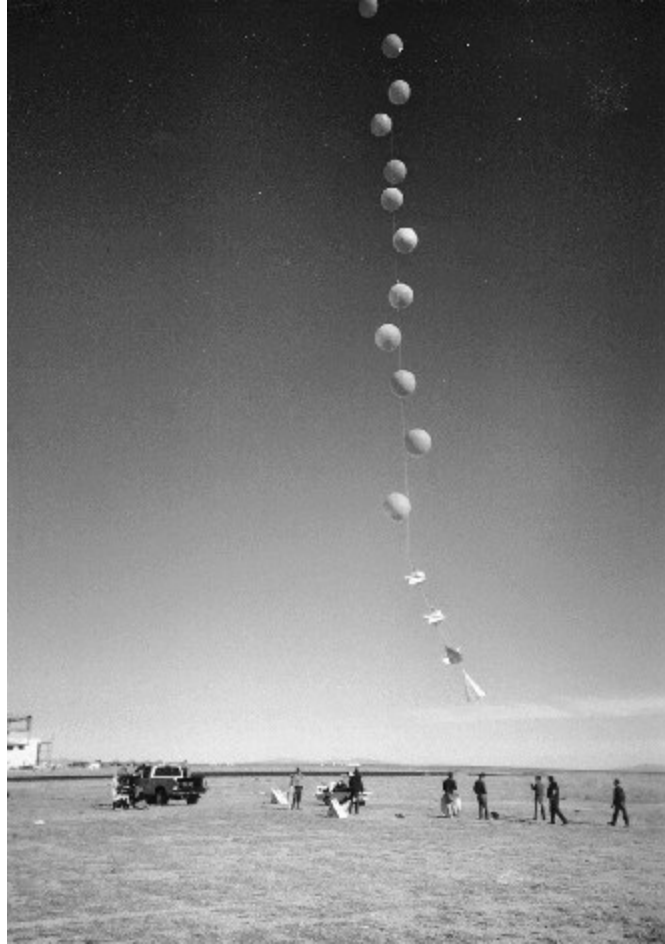
En 1947, Ewing se dio cuenta de que esta amplificación efectiva de los sonidos ofrecía una ingeniosa manera de espiar a los soviéticos. Es obvio que los soviéticos no andaban detonando armas nucleares a 14 kilómetros de altura; eso está muy arriba. Pero Ewing sabía que los hongos atómicos a menudo alcanzan esas alturas. Los hongos atómicos son bolsas de aire caliente que golpean a las moléculas que tienen a su alrededor, lo cual en esencia es la definición de sonido, así que Ewing confiaba en que los hongos atómicos



soviéticos hicieran el suficiente estruendo a 14 kilómetros de altura como para poder oírlos al otro lado del mundo. Todo lo que tenían que hacer las fuerzas aéreas era enviar globos sonda con micrófonos hasta el canal de sonido para escuchar. Bautizaron el programa Proyecto Mogul.

Ewing al principio se mostraba bastante optimista respecto al Proyecto Mogul, pero cuando comenzó a realizar pruebas desde el aeródromo militar de Alamogordo, en Nuevo México, a principios de 1947, se encontró con varios problemas. Uno era cómo mantener los globos sonda a una altitud constante, porque la luz del sol iba calentando la bolsa del globo, lo que a su vez calentaba el gas de su interior y hacía que el globo ascendiese fuera del canal de sonido. El equipo de Ewing contrarrestó esta tendencia usando globos transparentes, que permitían que la luz del sol los atravesase. (Ewing los encargó a la misma compañía que hizo los primeros globos en forma de figura para el desfile del Día de Acción de Gracias de los grandes almacenes Macy's. Cuando sus ayudantes vieron los globos, lo que les vino a la mente fue otra cosa: condones titánicos.)

Otro de los problemas tenía que ver con el seguimiento de los globos, que se dejaban arrastrar por el viento. Ewing propuso seguirlos con radar, pero el equipo de Alamogordo se las veía y se las deseaba para localizar aquellas minúsculas dianas a tan gran altitud, así que los científicos decidieron enviar no uno, sino treinta globos a la vez. Para ello, los ensartaban en una columna de sesenta y cinco pisos de altura, más del doble de la altura de la Estatua de la Libertad. También añadieron a la columna reflectores de radar, superficies de metal que ayudaban a redirigir las ondas de radar hacia el suelo. Cada uno de los reflectores tenía el aspecto de una cometa en forma de caja metálica, y de hecho el Proyecto Mogul encargó su fabricación a una compañía de juguetes. Como a los científicos la estética no les importaba demasiado, la compañía de juguetes unió los reflectores con la ayuda de pegamento y cinta adhesiva de la compañía Elmer's. Y como la cinta adhesiva aún escaseaba a causa de los problemas de suministro de la guerra, la compañía echó mano de una cinta de fantasía que tenía almacenada, una cinta que iba cubierta de unos garabatos morados con aspecto de jeroglífico.



*Reconstrucción del experimento con globos del Proyecto Mogul. (Fotografía por gentileza de Joe Nickell / Skeptical Inquirer.)*

Como ya se puede imaginar, estas desgarbadas columnas de metal, plástico y goma explican muchos de los «objetos voladores no identificados» que invadieron los cielos de Roswell en 1947. Cuando se elevaban, las columnas se movían de extrañas maneras, pues dependiendo de los vientos las distintas partes serpenteaban a un lado y a otro en distintos momentos. Los reflectores de radar producían unos inquietantes destellos a la luz de la luna, y cuando las columnas acababan estrellándose contra el suelo, el metal escarbaba la tierra y dejaba esparcidos muchos más restos que un globo meteorológico normal.

Esta tendencia a dejar restos esparcidos se convirtió en un auténtico dolor de cabeza para Maurice Ewing. Por demencial que parezca, el Proyecto Mogul recibió la misma clasificación ultrasecreta por partida doble que había tenido el Proyecto Manhattan. Ni siquiera sabían de su existencia los militares

de la base de las fuerzas aéreas de Roswell, a menos de 150 kilómetros de distancia, lo que significa que el equipo de Ewing tenía que apresurarse a recuperar cada uno de los restos de cada uno de los 110 vuelos que lanzaron. La mayoría de las veces les resultaba bastante fácil encontrar los globos caídos; cuando perdían uno, escuchaban las noticias de la radio sobre avistamientos de ovnis en busca de pistas. Pero algunas columnas de globos se les escaparon, entre ellas la que acabó estrellándose en el rancho de Mac Brazel.

Con todo el alboroto que se armó, años más tarde Brazel diría que lamentaba no haber mantenido el cobertizo cerrado y la boca sellada. Por la razón que sea, gente de todo el mundo se interesó por la historia, y de algún modo los restos que halló adquirieron matices extraterrestres. La respuesta de los militares no hizo más que alimentar las sospechas de la gente, y Roswell no tardó en desbocarse hasta convertirse en el fenómeno que hoy conocemos.

Entre tanto, el Proyecto Mogul siguió manteniéndose en secreto durante algunos años más, y a decir de algunos, los globos de Mogul detectaron Joe-I, el primer ensayo nuclear soviético, en agosto de 1949. Pero también lo detectaron otros métodos más baratos y fiables, como enviar aviones a rastrear los cielos en busca de posos radiactivos. Tras años de escasos resultados, las fuerzas aéreas finalmente dieron carpetazo a Mogul en 1950.

En aquel momento, con Mogul ya en la papelera de la historia, los militares podían haber clarificado las cosas. Paranoicos hasta el final, decidieron en cambio mantener el secreto e insistir en la estúpida historia de los globos meteorológicos. Al parecer, la amenaza de la Unión Soviética era tan imponente en su imaginación que prefirieron que siguieran hinchándose los rumores sobre una invasión extraterrestre antes que dar pistas a los soviéticos ni que fuera de un intento fallido de espiarlos. Para cuando las fuerzas aéreas hicieron público el Proyecto Mogul, en la década de 1990, ya era demasiado tarde: los rumores sobre Roswell se habían arrogado unos visos de veracidad propios.

De una forma tortuosa, sin embargo, la historia les ha dado la razón a los conspiracionistas. Las fuerzas aéreas realmente habían estado mintiendo durante todos aquellos años, y en 1947 realmente habían estado buscando por los cielos desesperadamente, pero no cruceros estelares alienígenas, sino

portentosos estruendos de gas. ¡Y pensar que toda esta historia retorcida comenzó con una curiosidad acústica de nuestra atmósfera, que a su vez depende de la extraordinaria capacidad del ozono para absorber energía! Al proteger el ADN de los organismos poco marinos, el ozono posiblemente hiciera tanto como cualquier otro gas para acelerar la evolución de la vida en la Tierra. Y al hacer posible el Proyecto Mogul, el ozono también convenció a mucha más gente que nunca del tema que nos ocupará en el siguiente capítulo: la existencia de vida en otros planetas.

## Aires alienígenas

A lo largo de este libro hemos ido viendo ejemplos de lo ingente que es nuestro océano de aire y lo profundamente que ha influido (y sigue influyendo) en la vida humana. Ahora es momento de ampliar nuestros horizontes una vez más y explorar las atmósferas de otros planetas. Por rico y gratificante que sea su estudio, la atmósfera de la Tierra no es más que un caso. ¿Qué otros tipos de aire existen en la infinitud del espacio? ¿Qué aires respiran las formas de vida alienígenas? Y ¿qué ocurriría si los seres humanos intentasen respirar esos aires?

Por descontado, al hablar de todas esas otras atmósferas descubriremos también cosas nuevas sobre nuestro propio aire, en particular lo valioso y frágil que es. Finalicé el capítulo anterior señalando que los seres humanos pueden manipular nuestro tiempo atmosférico solo hasta cierto punto, pero no era mi intención implicar que nuestra atmósfera sea tan enormemente grande y los humanos tan poca cosa que no podamos afectar a nuestro aire de ninguna manera. Bien al contrario. Quizá nunca podamos manejar el clima a nuestro antojo, pero eso no quiere decir que no lo estemos cambiando, y de forma muy significativa.

\*

Es una pena que los locos de las abducciones y los exámenes rectales alienígenas se hayan apoderado del debate desde Roswell, porque el estudio de la vida extraterrestre cuenta con un linaje ilustre. Johannes Kepler juró haber hallado pruebas de civilizaciones avanzadas en la Luna, y lo mismo aseguró William Herschel sobre el Sol. Immanuel Kant y Christiaan Huygens escribieron largo y tendido sobre los extraterrestres, y lo mismo hicieron Carl Gauss y Benjamin Franklin. Unos cuantos pensadores llegaron incluso a sugerir modos de enviar señales a alienígenas inteligentes, por ejemplo cultivando gigantescos triángulos de trigo en Siberia o llenando inmensos canales en el Sahara con petróleo para luego prenderles fuego.

Probablemente el proponente más conocido de la vida alienígena fuera Percival Lowell, un opulento embajador y escritor americano que en el ocaso de su vida se obsesionó con la astronomía. Lowell se sintió inspirado por el trabajo de un astrónomo italiano que en la década de 1870 afirmó haber

encontrado una retícula de *canali* negros que atravesaban la superficie de Marte, algunos de miles de kilómetros de longitud. Tras leer sobre estos *canali*, Lowell pensó de inmediato en el canal de Suez, entonces el proyecto de ingeniería más prodigioso de la historia. Convencido de que los canales marcianos eran aún más grandiosos, hizo construir su propio observatorio en Arizona para estudiarlos, gastando 20.000 dólares (medio millón de dólares actuales) solamente en el telescopio. Lowell habría hecho mejor en gastarse 20 dólares en un tutor italiano, quien le habría explicado que *canali* no hacía referencia necesariamente a un canal de ingeniería, sino a uno de cualquier tipo, incluidos los naturales. Sea como fuere, Lowell comenzó a estudiar en serio la «ingeniería hidráulica» marciana; llegó a afirmar que había detectado el crecimiento y decrecimiento de la «vegetación» cada primavera y otoño marcianos. Al principio, muchos astrónomos apoyaban a Lowell, pero entonces comenzó a publicar libros repletos de imaginaciones disparatadas sobre las tecnologías marcianas. La gota que colmó el vaso llegó cuando afirmó que había visto signos de civilización en Venus, una imposibilidad dada la constante capa de nubes que oculta su superficie. Finalmente, telescopios de mayor calidad revelaron que los «canales» no eran más que ilusiones ópticas, como una cadena de puntos negros borrosos que, desde la distancia, se funden en una línea. El biólogo Alfred Russel Wallace también señaló que, desde el punto de vista de la ingeniería, las afirmaciones de Lowell carecían de sentido. Unos canales que llevasen agua a lo largo de miles de kilómetros acabarían perdiendo hasta la última gota por evaporación. Además, Wallace observó que aquellos canales nunca giraban o viraban, nunca se desviaban alrededor de los accidentes del paisaje del modo que uno esperaría. Si realmente eran canales, concluía Wallace, eran «la obra de... locos, no de seres inteligentes».

Lejos de aprender la lección, los astrónomos siguieron dejando volar libre su imaginación durante todo el siglo siguiente. En la década de 1970 la NASA lanzó dos sondas *Viking* en busca de vida en Marte, y, antes del despegue, Carl Sagan congregó a una pandilla de periodistas alrededor de un modelo del módulo de descenso de *Viking* y empezó a hacer ante sus cámaras un desfile de culebras, camaleones y tortugas con el propósito de mostrarles lo

que esperaba encontrar en el Planeta Rojo. «No hay razón alguna para excluir de Marte organismos que varíen en tamaño de las hormigas a los osos polares», declaró. Pero nunca apareció un oso polar del color del óxido.

Lo que sabemos de las perspectivas actuales de hallar vida en nuestro sistema solar es lo siguiente. Algunos lugares podemos descartarlos de inmediato. Con el debido respeto a William Herschel, su teoría sobre organismos que habitaban en el Sol era una bobada. El Sol es más caliente que el fuego, lo bastante como para que en él los átomos se desintegren en plasma, y a ver quién es el guapo que construye en esas circunstancias biomoléculas complicadas como el ADN, por no hablar de organismos enteros. En cuanto a los otros cuerpos que presiden nuestros cielos, la Luna parece ser demasiado fría y, especialmente, demasiado seca para la vida. Quizá sea un bioprejuicio por nuestra parte, pero el agua líquida nos parece esencial para cualquier cosa que podamos reconocer como vida, tanto como medio para las reacciones químicas como para absorber los radicales libres que de otro modo harían trizas a las moléculas orgánicas. Por otro lado, la Luna tampoco tiene aire que respirar.

Marte y Venus mostraron en otro tiempo una gran promesa como morada de la vida, pero se desvaneció en ambos casos, aunque por razones distintas. No obstante el fiasco de los canales, los científicos creen ahora que por Marte fluyó agua en algún momento, solo que no recientemente. Además, perdió su atmósfera hace miles de millones de años. Como en el caso de la Tierra, aquella atmósfera se habría originado inicialmente en erupciones volcánicas, y también como en la Tierra, aquellas atmósferas primigenias probablemente acabasen siendo expulsadas al espacio por el impacto de asteroides. Pero a diferencia de la Tierra, Marte era demasiado pequeña para retener mucho calor en su interior, que se enfrió y solidificó, secando los volcanes. Marte perdió de este modo la capacidad de reconstruir su atmósfera después de perderla. La solidificación del núcleo también acabó con el campo magnético de Marte. Eso es muy importante porque un campo magnético en esencia actúa como un campo de fuerza alrededor de un planeta y desvía el viento solar, una corriente de partículas procedentes del Sol que tendería a eliminar los pocos

gases que quedasen. En la actualidad, la atmósfera de Marte no pasa de ser un soplo de dióxido de carbono con una presión del aire doscientas veces menor que la de la Tierra.

(Por cierto que es un mito que fuera a explotarnos la cabeza si nos quitásemos el casco en un entorno de baja presión como Marte, o en el espacio exterior en general. Nuestro cráneo es lo bastante fuerte como para resistirlo. No obstante, no aguantaríamos mucho tiempo, pues con tan minúscula presión, toda el agua de la boca y los ojos se vaporizaría en segundos, y el cuerpo se apagaría a causa del intenso frío, que transformaría el cerebro en un bloque de hielo. Bienvenidos al espacio, donde podemos vaporizarnos y congelarnos al mismo tiempo.)

Venus, por su parte, inició su vida como una segunda Tierra, prácticamente idéntica salvo por el hecho de tener una órbita más cercana al Sol. Bastó esa sola diferencia para condenar a nuestro vecino. En cierto sentido, Venus tiene el problema opuesto al de Marte: demasiado aire. Sus antiguos volcanes probablemente liberasen vapor de agua y dióxido de carbono al mismo ritmo que en la Tierra primigenia, pero como Venus estaba más cerca del Sol, allí la temperatura nunca bajó lo bastante como para que el vapor se condensase en lagos y océanos, y se quedó en estado gaseoso. Sin agua líquida, el CO<sub>2</sub> no tuvo la oportunidad de disolverse y formar minerales sólidos, de modo que también se quedó en forma de gas. En conjunto, hay aproximadamente el mismo número de átomos de carbono en Venus que en la Tierra, pero en Venus hay 200.000 veces más *gas* de carbono. Esto confiere a Venus una presión del aire comparable a la presión que hay a 800 metros de profundidad en el océano. Y lo que es peor, el dióxido de carbono atrapa el calor (es un gas invernadero), y la superficie de Venus escalda: sus 460 °C bastarían para fundir el plomo. No hay necesidad de condenar a las almas al infierno,\* bastaría con enviarlas a Venus.

En la actualidad, la mayoría de los astrónomos coinciden en que si hay vida en algún lugar de nuestro sistema solar, será en alguna de las lunas de Júpiter o Saturno. A causa de su lejanía respecto al Sol, ninguna de ellas recibe mucha luz o calor, pero sí sienten grandes fuerzas mareales mientras orbitan alrededor de su planeta. La acción de las mareas básicamente convierte energía gravitatoria en fricción, y esa fricción probablemente dé el



calor suficiente para producir volcanes y agua líquida, al menos bajo la superficie de las lunas. La NASA considera hasta tal punto que el luna joviana Europa es un prometedor candidato a albergar vida que, después de que la sonda *Galileo* acabase de dar la vuelta a Júpiter en 2003, los científicos deliberadamente la estrellaron contra esta planeta antes que correr el riesgo de que algún día cayese en Europa y quizá la contaminase con microbios traídos inadvertidamente desde la Tierra.

En cuanto a si existe vida fuera de nuestro sistema solar, los científicos llevan décadas debatiendo la cuestión. Algunos creen que es imposible, otros están convencidos de que está ahí afuera. (Como en cierta ocasión dijo Arthur C. Clarke, «Hay dos posibilidades: o estamos solos en el universo o no lo estamos. Ambas son igual de aterradoras».) Por varias razones, durante las últimas décadas la opinión científica se ha inclinado decididamente hacia la segunda posibilidad, que el universo debe estar lleno de vida.

Para empezar, ahora tenemos indicios sólidos de que existen planetas en órbita alrededor de otras estrellas. Este tipo de investigaciones no acabó de despegar hasta la década de 1990, pero los astrónomos ya han localizado 3.200 de los llamados exoplanetas. Normalmente los detectan buscando cambios periódicos en la luz que emiten las estrellas. (En particular corrimientos Doppler, cambios sutiles en el color de la luz provocados por los leves desplazamientos de la estrella a causa del planeta en órbita a su alrededor.) Si la estrella y el planeta se alinean de forma apropiada, los científicos también pueden buscar cambios en el brillo que se producen cuando el exoplaneta se sitúa frente a la estrella y bloquea un poco de su luz, o sea, un eclipse parcial. Se hace difícil comprender la precisión que implica este trabajo; es como buscar desde Maine una pulga en una bombilla de San Diego. Sin embargo, los científicos han desarrollado superpoderes para lograrlo. Todavía no hemos detectado ningún signo de vida, que sería como detectar células individuales, o incluso moléculas, en esa pulga, pero en la mayoría de los casos los científicos pueden determinar el tamaño, masa y distancia de órbita del planeta, lo cual ya es un paso importante.

La vida alienígena también parece más plausible en la actualidad porque sabemos que varias de las piezas fundamentales para construir la vida (agua, metano, amoníaco, gases de carbono) son comunes en el espacio. Los

astrónomos han detectado también en el espacio bases de ADN y aminoácidos simples. Además, e igualmente importante, ahora sabemos que en la propia Tierra la vida puede prosperar en lugares bastante duros, como los respiraderos volcánicos submarinos, el mar Muerto o a 800 metros bajo el hielo de la Antártida. La bacteria *Deinococcus radiodurans* puede incluso sobrevivir en los residuos nucleares, sometida a niveles de radiación tres mil veces superiores a los que matarían a un ser humano. (¿Cómo lo consigue? Reparando su ADN muy, muy deprisa. *D. radiodurans* naturalmente no evolucionó para vivir en residuos radiactivos, puesto que no existían en la naturaleza, sino para vivir en lugares extraordinariamente secos, y resulta que los daños causados por la radiactividad se parecen a los que produce la deshidratación extrema. Quien quiera saber qué resistiría a un holocausto nuclear, que busque en el desierto.) En términos generales, pues, las investigaciones sobre biomoléculas llevan a pensar que la materia prima para la vida es abundante, mientras que las investigaciones realizadas en ambientes extremos sugieren que la vida puede prosperar en los lugares más insospechados.

No obstante, toda la cháchara sobre la vida en planetas distantes no pasará de ser especulación (somos como los escolásticos medievales discutiendo sobre los ángeles) mientras no consigamos algún indicio sólido. Y los mejores indicios, dejando de lado la posibilidad de aterrizar en alguno de los exoplanetas, provendrán del estudio de los gases de sus atmósferas.



*Impresión artística de la luz de una estrella filtrándose a través de la atmósfera de un lejano exoplaneta. (Fotografía por gentileza de la NASA.)*

Para conseguir estos indicios, los astrónomos primero tienen que encontrar una diana adecuada, es decir un planeta rocoso que no esté ni demasiado cerca de su sol, ni demasiado lejos. Entonces tendrán que esperar a que el planeta pase por delante de ese sol. La mayor parte de la luz de la estrella todavía nos llegará durante el tránsito, porque las estrellas son mucho más grandes que los planetas, pero un pequeño porcentaje de esa luz quedará bloqueado por el cuerpo del planeta. (La Tierra, por ejemplo, bloquearía un 0,008 por ciento de la luz de nuestro Sol.) Lo que realmente interesa a los astrónomos, sin embargo, es la fracción aún más minúscula de luz (quizá un 0,00005 por ciento) que ni queda bloqueada por el planeta ni pasa inalterada por el planeta, sino que se filtra a través de la corona de gas de su atmósfera.

La luz y los gases interactúan de una forma especial. Cuando los gases son excitados, normalmente emiten luz, como ya vimos en el caso de las farolas de sodio y las llamadas luces de neón. Pero hay más. Aunque la luz emitida por esas lámparas parezca de un color uniforme, en realidad es una mezcla de varios colores distintos.

Podemos ver esos colores individuales si descomponemos esa luz con un prisma, y entonces aparecen como líneas o franjas. El gas hidrógeno, por ejemplo, emite una franja de color rojo brillante, una franja de un suave azul agua y varios morados apagados. El helio, en cambio, emite, entre otras, una espléndida línea amarilla. (Fue precisamente esta potente banda amarilla lo que permitió a los astrónomos descubrir helio en el Sol en 1868,\* décadas antes de que William Ramsay lo descubriese en la Tierra.) El resto de los elementos de la tabla periódica emiten también sus propias franjas de color características, lo que los científicos conocen como su espectro de emisión.

Existe también lo que se conoce como espectro de absorción, que esencialmente es lo contrario del espectro de emisión: mientras que un espectro de emisión se refiere a los colores específicos de la luz que emiten los gases calientes, un espectro de absorción se refiere a los colores que *bloquean* los gases fríos. Imaginemos un arco iris, como el que se obtiene

cuando se descompone la luz blanca pura a través de un prisma. Ahora imaginemos que viene alguien con tinta y un pincel fino y tapa una línea aquí y otra acullá. Ese es el aspecto que tiene un espectro de absorción.

Cuando los astrónomos examinan la luz de las estrellas filtrada por la corona de un planeta lejano, lo que les interesa es el espectro de absorción. Y les interesa porque los distintos compuestos gaseosos, como el cloro o el vapor de agua o el amoníaco, absorben franjas distintas de la luz de la estrella. Así pues, las franjas de color que faltan actúan como una «huella dactilar» de ese gas y, por lo tanto, estudiando las pautas de colores faltantes, los astrónomos pueden inferir qué gases existen en la atmósfera del exoplaneta. Pese a los enormes retos tecnológicos que supone, los telescopios espaciales ya han detectado vapor de agua en planetas situados a varios años luz, a unos 32 billones de kilómetros. En el futuro, los telescopios deberían poder detectar también dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, metano y otros gases comunes. (Los estudios realizados en la Tierra sugieren que las formas de vida de nuestro planeta pueden producir hasta 600 gases distintos.)

Naturalmente, cuando se busca vida extraterrestre, algunos gases son más informativos que otros. El agua y el dióxido de carbono implican la presencia de volcanes, pero poco más. El argón tan solo nos dice que hay mucho potasio-40 que se ha ido desintegrando. El hidrógeno y el helio probablemente indiquen un planeta naciente, demasiado joven para albergar vida. En cuanto a los signos positivos de la vida, los astrobiólogos creían en otro tiempo que el oxígeno sería una pista inapelable, puesto que en la Tierra son los organismos vivos quienes producen la mayor parte del  $O_2$ . El ozono también parecía ser un indicador firme porque la creación de  $O_3$  requiere  $O_2$  como materia prima. Desde entonces, sin embargo, nos hemos dado cuenta de que distintos planetas con distintas geologías podrían producir oxígeno sin el concurso de seres vivos. (La luz ultravioleta intensa, por ejemplo, puede escindir el vapor de agua en  $H_2$  y  $O_2$ .) De igual modo, muchos astrobiólogos propusieron en el pasado que se buscara la presencia de metano, un destacado producto de desecho microbiano en la Tierra. Pero los modelos sugieren ahora que las emisiones submarinas de magma pueden reaccionar con el agua del mar,

produciendo metano como producto secundario. Hasta Plutón adquiere un velo de metano (y nitrógeno) cuando se acerca al Sol, y las probabilidades de que allí haya vida son nulas.

Al final, no hay un único gas que pueda funcionar como un anuncio de neón que diga «¡Aquí hay vida!». Sin embargo, las *combinaciones* de ciertos gases podrían constituir indicios fuertes. Cuando se mezclan en la atmósfera, el metano y el oxígeno tienden a atacarse el uno al otro, y sus concentraciones se reducen al unísono. Así pues, en un planeta sin vida se pueden encontrar cantidades apreciables de uno y otro, pero no de ambos. En cambio, si se encuentran los dos en abundancia, es que debe haber algo que constantemente los esté reponiendo, y es difícil imaginar qué otra cosa podría ser ese «algo» si no es la vida. Por consiguiente, el hallazgo de un fuerte espectro de metano-oxígeno sería afín al hallazgo de un fósil, pero un fósil hecho de gases.

Podemos llevar esto un paso más allá, pues mientras que los gases como el oxígeno pueden ayudarnos a detectar «plantas» y «animales» y microbios extraterrestres, a la larga lo que nos interesa es la vida inteligente. El llamado programa SETI (de Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre, por sus siglas en inglés) se ha centrado fundamentalmente en detectar ondas electromagnéticas de planetas distantes, algo así como radioaficionados alienígenas. Pero esta aproximación tiene limitaciones, puesto que solo podría detectar civilizaciones que emitan hacia el espacio. En otras palabras, nadie habría detectado la humanidad antes de 1905, ni detectaría planetas cuyos habitantes usasen tecnologías del tipo del telégrafo. Más aún, si las tendencias actuales se sostienen y la emisión aérea sigue perdiendo importancia, la propia Tierra será «radiosilenciosa» en uno o dos siglos, lo que nos haría básicamente invisibles desde la distancia. Las civilizaciones de otros planetas podrían seguir pautas parecidas, lo que nos ofrecería una ventana muy estrecha para detectarlas,

Una manera mejor de buscar inteligencia extraterrestre podría ser la detección de contaminación alienígena. Si usamos la Tierra como ejemplo, los astrónomos extraterrestres sin duda estarían que trinan (o que pían, o que gruñen, o lo que hagan cuando se excitan) por la presencia de clorofluorocarbonos (CFC) en nuestro aire, ya que ningún proceso natural puede producir esos gases. Los astrónomos también podrían inferir algunas

cosas sobre el bienestar de una civilización lejana a partir de su grado de polución. Algunos contaminantes se degradan en unos diez años, otros requieren cientos de miles. Así pues, si observáramos una mezcla de contaminantes de corta y larga vida en una atmósfera distante, podríamos concluir que la industria allí era activa. Si solo detectásemos los de larga vida, la conclusión podría ser más lóbrega: que los hombrecillos verdes de aquel planeta se habían aniquilado a sí mismos, quizá destruyendo su propio medio ambiente (en cuyo caso supongo que no habrían sido realmente *verdes*). Buscar signos de contaminación puede parecer descabellado, pero cuando se ponga en el espacio el Telescopio Espacial James Webb, en unos pocos años, tendrá la capacidad para detectar, en planetas situados a varios años luz, concentraciones de CFC diez veces mayores que las de la Tierra. La siguiente generación será todavía mejor.

O quizá no sean los CFC los que nos den la pista, tal vez percibamos el tufo de otro gas exótico. Quizá ese gas no sea siquiera un contaminante, sino algo que podamos usar aquí en beneficio propio. Si cogemos una tabla periódica y apuntamos con el dedo a unos cuantos elementos al azar, tal vez el gas que formen juntos pueda revolucionar la medicina o el transporte o la metalurgia de algún modo que ni siquiera podemos imaginar, igual que hicieron otros gases en el pasado. ¡Y pensar que la primera noticia de su existencia podría venir no de un laboratorio de I+D de la Tierra, sino del halo de luz de un planeta situado a billones de kilómetros de nosotros!

La búsqueda de la vida en otros planetas suscita todo tipo de pretenciosas preguntas espirituales\* sobre los seres humanos y el lugar que ocupamos en el cosmos. (La más apremiante de ellas es si el descubrimiento de vida inteligente en algún otro lugar automáticamente nos haría menos especiales.) Por desgracia, los crecientes niveles de gases invernadero aquí en la Tierra también están haciendo de la habitabilidad de planetas lejanos una cuestión incómodamente práctica: algún día podríamos necesitarlos como refugio.

De manera parecida a la radiactividad, es importante saber que los gases invernadero no son malignos por sí mismos. Podemos pensar en ellos como en el colesterol. Nuestro cuerpo necesita un poco de colesterol para las vainas de

las neuronas y para fabricar ciertas vitaminas y hormonas; el problema surge cuando el nivel de colesterol aumenta mucho. Lo mismo pasa con los gases invernadero.

Los gases invernadero reciben este nombre porque atrapan la luz del sol, aunque no directamente. La mayor parte de la radiación solar golpea primero la tierra y la calienta. La tierra libera entonces una parte de ese calor de vuelta al espacio en forma de luz infrarroja. (La radiación infrarroja tiene una longitud de onda más larga que la luz visible; para lo que nos ocupa, podemos concebirla básicamente como calor.) Si la atmósfera estuviera formada únicamente por nitrógeno y oxígeno, este calor infrarrojo se escaparía al espacio, puesto que las moléculas diatómicas como  $N_2$  y  $O_2$  no pueden absorber el infrarrojo. En cambio, gases como el dióxido de carbono y el metano, que tienen más de dos átomos, sí absorben el calor infrarrojo, y cuantas más moléculas de varios átomos como estas haya en el aire, más calor absorben. Por eso los científicos las califican de gases invernadero: son la única fracción del aire que puede atrapar el calor de este modo.

Los científicos definen el efecto invernadero como la diferencia entre la temperatura que tiene nuestro planeta y la que tendría en ausencia de estos gases. En Marte, la débil cubierta de  $CO_2$  incrementa su temperatura en menos de  $6\text{ }^\circ C$ . En Venus, los gases invernadero la hacen subir unos espectaculares  $500\text{ }^\circ C$ .\* La Tierra cae entre estos dos extremos. Sin gases invernadero, nuestra temperatura media global sería de unos gélidos  $-18\text{ }^\circ C$ , por debajo del punto de congelación del agua. Con los gases invernadero, la temperatura media se mantiene en unos agradables  $16\text{ }^\circ C$ . Los astrónomos suelen decir que la Tierra sigue una órbita a la distancia perfecta del Sol, una «distancia Goldilocks», a la que el agua ni hierve ni se congela.<sup>1</sup> Contra ese cliché, conviene aclarar que en realidad es la combinación de la distancia al Sol y los gases invernadero lo que nos brinda  $H_2O$  líquida. La distancia sola nos convertiría en Hoth.<sup>2</sup>

Por increíble que parezca, el gas invernadero más importante de la Tierra es, de lejos, el vapor de agua, que por sí solo sube la temperatura de la Tierra en  $22\text{ }^\circ C$ . El dióxido de carbono y otros gases traza explican los 12 grados restantes. Así que si el agua realmente hace más, ¿por qué se ha convertido el  $CO_2$  en el malo de la película? Básicamente porque los niveles de dióxido de

carbono están aumentando muy deprisa. Los científicos pueden examinar la composición del aire en siglos pasados analizando pequeñas burbujas de aire atrapadas bajo los mantos de hielo del Ártico. Gracias a estos análisis, saben que durante la mayor parte de la historia de la humanidad, el aire contenía 280 moléculas de dióxido de carbono por cada millón de partículas totales. Luego comenzó la Revolución industrial y nos pusimos a quemar cantidades ingentes de hidrocarburos, que liberan CO<sub>2</sub> como producto de la combustión. Para hacerse una idea de la escala implicada, en un ensayo que escribió para sus nietos en 1882 el magnate del acero Henry Bessemer se jactaba de que solo Gran Bretaña quemaba el carbón equivalente a cincuenta y cinco pirámides de Giza cada año. Dicho de otro modo, añadía Bessemer, ese carbón bastaría para «construir un muro alrededor de Londres de 320 kilómetros de longitud, 30 metros de altura y 13 metros de anchura, una masa no ya igual en volumen a la Gran Muralla de China, sino suficiente para añadir unos 560 kilómetros más a su longitud». Y hay que recordar que eso era décadas *antes* de los automóviles, el transporte moderno y la industria petrolífera. Los niveles de dióxido de carbono alcanzaron 312 partes por millón en 1950, y desde entonces se han disparado por encima de 400.

La gente que resta importancia al cambio climático suele señalar, con razón, que las concentraciones de CO<sub>2</sub> han fluctuado a lo largo de millones de años, mucho antes de que existieran humanos, alcanzando en ocasiones niveles hasta doce veces superiores a los actuales. Es cierto también que la Tierra posee mecanismos naturales para eliminar el exceso de dióxido de carbono, un estupendo bucle de realimentación negativa por el cual el agua de los océanos absorbe el exceso de CO<sub>2</sub>, lo convierte en minerales y los almacena en los sedimentos. Pero visto desde una perspectiva más amplia, estas verdades se quedan en medias verdades. Las concentraciones de CO<sub>2</sub> han variado en el pasado, es cierto, pero nunca han subido tan deprisa como durante los últimos dos siglos. Y aunque existen procesos geológicos que secuestran CO<sub>2</sub> bajo tierra, requieren de millones de años. Entre tanto, los seres humanos hemos arrojado aproximadamente 1,1 billones de toneladas de CO<sub>2</sub> al aire solo en los últimos cincuenta años. (Eso se traduce en más de 700 toneladas por segundo. Si pensamos en lo poco que pesan los gases, nos daremos cuenta de



lo inimaginablemente grandes que son estas cifras.) Los mares y los bosques se tragan aproximadamente la mitad de ese  $\text{CO}_2$ , pero la naturaleza simplemente no da abasto a engullirlo.

La situación se agrava cuando se toman en consideración otros gases invernadero. Molécula por molécula, el metano absorbe veinticinco veces más calor que el dióxido de carbono. Una de las principales fuentes de metano en la Tierra actual se encuentra en el ganado doméstico: cada vaca eructa una media de 570 litros de metano al día y expulsa 30 litros más por el trasero; globalmente, eso añade unos 80 millones de toneladas de  $\text{CH}_4$  al año, una parte del cual se degrada por procesos naturales, pero no todo. Otros gases hacen aún más daño. El óxido nitroso (el gas de la risa) engulle calor con una eficacia trescientas veces superior a la del dióxido de carbono. Aún peores son los CFC, que no solo destruyen el ozono, sino que atrapan calor miles de veces mejor que el dióxido de carbono. Colectivamente, los CFC son responsables de una cuarta parte del calentamiento global inducido por los humanos, pese a tener en el aire concentraciones del orden de milésimas de una parte por millón.

Y los CFC ni siquiera son el peor problema. Lo peor es un bucle de realimentación positivo en el que está involucrado el agua. Una realimentación positiva (como el chirrido que se oye cuando dos micrófonos se acoplan) consiste en un ciclo que se perpetúa a sí mismo, reforzándose fuera de control. En el caso que nos ocupa, el exceso de calor provocado por los gases invernadero hace que el agua de los océanos se evapore a un ritmo superior al normal. El agua, como se recordará, es uno de los mejores (es decir, peores) gases invernadero, así que este aumento de vapor de agua atrapa más calor. Eso hace que las temperaturas aumenten un poco más, lo que provoca una mayor evaporación, que atrapa todavía más calor y conduce a una mayor evaporación, y así sucesivamente.\* A la que uno se descuida, estamos como Venus. La posibilidad de un bucle de realimentación desbocado nos enseña por qué debemos preocuparnos por un pequeño aumento de la concentración de CFC. Unas pocas milésimas de partes por millón pueden parecer muy poca cosa, algo sin efecto, pero si la teoría del caos nos enseña algo es que cambios muy pequeños pueden tener consecuencias muy grandes.

La vida persistirá después del cambio climático, desde luego; de lo que no tenemos garantías es que pueda superarlo la vida *humana*. Así que si no queremos ser la causa de nuestra propia extinción, ¿qué debemos hacer? Dudo que alguna vez dejemos de contaminar deliberadamente y volvamos a formas de vida más simples; nos gustan demasiado la carne y los teléfonos móviles y el transporte rápido. Tal vez las multas o los impuestos pudieran frenar el consumo. Algunos economistas también proponen establecer un mercado de derechos de emisión de tal manera que quienes adopten tecnologías más limpias, como la energía solar, ganen «créditos de carbono» que puedan cambiar por dinero. En apoyo de este sistema aducen que un mercado parecido ayudó a reducir la lluvia ácida en la década de 1980, acabando prácticamente con el problema. Sin embargo, la reducción de la lluvia ácida implicaba solamente unos pocos gases (sobre todo dióxido de azufre y algunos óxidos de nitrógeno), mientras que en el caso de los gases invernadero, hablamos de varias docenas de especies químicas, entre ellas el ubicuo CO<sub>2</sub>, lo que incrementa enormemente la complejidad. Y en un sentido más amplio, incluso si frenásemos la emisión de gases invernadero, probablemente todavía tendríamos problemas para controlar los daños que ya se han infligido. A causa del bucle de realimentación positivo con la evaporación y el vapor de agua, el calentamiento climático ha adquirido una terrible inercia. No podemos calentar un poco el planeta y luego simplemente apretar el botón de pausa.

En mi opinión, la ingeniería climática, que consiste en dar pasos deliberados para enfriar nuestra atmósfera, es la única solución realista. Seamos claros: en cualquier especie de marco objetivo, la ingeniería climática parece también una solución desesperada y demencial. No podemos realmente testar la idea si no es a escala planetaria, y es más que probable que acabemos metiendo la pata y empeorando la situación. Pero por mucho que crea en la ley de las consecuencias imprevistas, creo aún más en la coherencia de la naturaleza humana a lo largo del tiempo, y dada la pereza y miopía que han dominado nuestro comportamiento en el pasado, no veo cómo no habrían de dominarlo también en el futuro. No quisiera parecer pesimista sobre los seres humanos: algunos de mis mejores amigos pertenecen a ese club. Pero tenemos defectos, y los intentos de gestionar el cambio climático dejan en evidencia

los peores. En cambio, buscar una solución tecnológica para el problema, aunque no sea fácil, saca partido de lo que los humanos hacemos bien: juntarnos para defender una causa cuando la situación se pone realmente fea y empezar a construir cosas.

Una de las aproximaciones que propone la ingeniería climática consiste en captar el dióxido de carbono gaseoso y transformarlo en carbono sólido. Por ejemplo, cuando las hormigas perforan el suelo para construir sus nidos, producen calcio como producto secundario, y resulta que el calcio reacciona con el  $\text{CO}_2$  de la lluvia produciendo carbonato cálcico, un sólido que no flota en el aire atrapando calor. Así que tal vez podríamos abrir una gigantesca granja de hormigas en Siberia y dejarlas hacer. Hay alternativas: podríamos aprovechar los organismos acuáticos unicelulares que constituyen el llamado fitoplancton. Muchas regiones del océano son pobres en hierro, un nutriente esencial, así que tirar polvo de hierro en esos mares puede producir grandes proliferaciones de fitoplancton o «blooms». El fitoplancton construye exoesqueletos de carbono, que extraen del  $\text{CO}_2$  del aire, y cuando mueren y caen al fondo ese carbono queda depositado en los sedimentos oceánicos. Las hormigas y el fitoplancton pueden parecer muy poca cosa para enfrentarse al cambio climático, pero los humanos tendemos a subestimar el ingente número en que se encuentran esos organismos y el mucho trabajo que pueden hacer. En tanto que seres vivos, pueden reproducirse por su cuenta, con lo cual se elimina la necesidad de que los humanos los mantengan.

Otra de las aproximaciones de la ingeniería climática se basa en bloquear la luz del sol antes de que alcance el suelo y se convierta en calor. Para lograrlo, algunos científicos han sugerido poner en órbita espejos gigantescos o rociar las nubes con agua del mar para hacerlas más blancas, esponjosas y reflectantes. La idea de la que más se ha hablado implica rociar la estratosfera con varias megatoneladas de dióxido de azufre, ya que el  $\text{SO}_2$  también refleja la luz del sol de vuelta al espacio (es una especie de antigás invernadero). Aunque en otro tiempo contribuyera a la lluvia ácida, este óxido de azufre no sería lavado fácilmente por las precipitaciones porque lo dispersaríamos por encima de la altitud a la que se forman las nubes de lluvia. Otra de las grandes ventajas del dióxido de azufre es que, a diferencia de otras aproximaciones a la ingeniería climática, la naturaleza ya ha hecho por nosotros algunos

experimentos, aunque no muy finos: los volcanes suelen expulsar este gas, y las grandes erupciones, como las de Tambora y Krakatoa, consiguieron enfriar el planeta durante varios años. La desventaja es que podríamos causar otros problemas que no habíamos anticipado. Como poco, el SO<sub>2</sub> podría apagar el vivo azul del cielo y oscurecernos la visión de las estrellas en el firmamento nocturno; a cambio, las puestas de sol adquirirían unos estridentes tonos rojizos.

Por supuesto, podemos combinar varias tácticas: enormes granjas de hormigas, superpetroleros que rocíen los océanos con hierro, cañones que disparen proyectiles llenos de dióxido de azufre desde el monte Kilimanjaro. Por desgracia, una vez que comencemos a apoyarnos en estas tecnologías, ya nunca podremos abandonarlas; estaremos dale que dale hasta el final de los tiempos. Por otro lado, dado el fracaso de los seres humanos a lo largo de la historia para frenar el consumo antes de que todo se desmorone, la ingeniería parece ofrecernos la opción más pragmática para salir del embrollo en el que estamos. Y aunque sea muy costoso (cientos de miles de millones de dólares al año), resulta barato ante la perspectiva de extinguir toda nuestra extravagante especie.

Pero supongamos que la ingeniería genética fracasa y que la Tierra se va (bastante literalmente) al infierno. Llegados a ese punto, nuestra única opción sería comenzar de nuevo en otro planeta.

Si no llegamos a desarrollar naves espaciales intergalácticas, tendremos que quedarnos por los alrededores, lo que significa que tendríamos que aplicar a la Luna o a Marte algún tipo de maquillaje ambiental,\* un proceso que se conoce como terraformación. En algunos aspectos, la terraformación no implicaría más que modificar un poco algunos elementos que ya están ahí. El suelo marciano, por ejemplo, se parece al suelo de la Tierra mucho más de lo que pudiera sugerir su color rojo: está repleto de nutrientes, y los cultivos que prefieren suelos alcalinos probablemente crecerían bien allí (suponiendo que tengan aire y no se congelen, naturalmente). La Luna, en cambio, necesitaría más ayuda para poner su suelo a la altura de las exigencias. Y ambos cuerpos celestes necesitarían agua y aire. Por suerte, podríamos satisfacer estas dos necesidades importando materiales en forma de cometas. Los científicos ya han conseguido llevar sondas hasta el suelo de cometas, y si uno de esos

módulos llevase una bomba atómica, la explosión podría desviar el cometa de su curso y redirigirlo hacia el planeta diana. Antes de que el cometa se estrellase contra el suelo, lo haríamos añicos con otra bomba nuclear, tras lo cual el hielo, los gases y los nutrientes minerales que contuviera caerían blandamente sobre la superficie (al menos en teoría).

De acuerdo con algunas estimaciones, bastaría un centenar de cometas del tamaño de Halley para transformar completamente la Luna, fertilizando su paisaje y llenando sus «mares», como el de la Tranquilidad, con agua de verdad. (Marte, al ser mayor, necesitaría más cometas.) Una vez tengamos agua, conseguir una atmósfera que podamos respirar es fácil: bastaría con importar algunas algas, que producen oxígeno, y dejarlas que hagan su trabajo. (Algunos estudios advierten de que este proceso podría llevar miles de años; otros sugieren mucho menos tiempo. En cualquier caso, una vez se alcance una presión mínima se podría importar plantas para acelerar el proceso.) Para acabar de arreglar las cosas, podríamos embotellar algunos de nuestros CFC más potentes y enviarlos a Marte o la Luna, donde sí podrían hacer algún bien calentando esos gélidos cuerpos.

Al engrosarse la atmósfera de Marte, su cielo, que a causa del polvo ahora es de un color cremoso, entre rosa y amarillo, a medida que los gases comenzasen a dispersar la luz del Sol comenzaría a adquirir tonos azulados. Algo parecido ocurriría con el cielo de la Luna, hoy negro, y nuestro satélite se vería distinto desde la Tierra. Algunos cálculos sugieren que una Luna terraformada brillaría con una intensidad cinco veces mayor en nuestro cielo, y tendría temperaturas tan cálidas como las de Florida. Con ese clima, y teniendo en cuenta que su menor gravedad sería más grata a las articulaciones, cabe imaginar que acabase convirtiéndose en un lugar popular para jubilarse.

Si se tiene en cuenta el enorme trabajo que implica transformar un planeta entero, quizá la Luna o Marte no fuesen la mejor opción a largo plazo. Y a un plazo realmente largo, trasplantarnos dentro del sistema solar tampoco es una opción, porque nuestra estrella acabará destruyendo todo lo que hay a su alrededor. Cuando el Sol emitió sus primeros destellos, hace unos 4.500 millones de años, era un 30 por ciento más tenue que en la actualidad. Desde entonces se ha ido tornando más brillante y más caliente, y en los próximos dos mil millones de años probablemente se haga lo bastante caliente como

para hacer hervir todos los océanos de la Tierra. Aunque alguna especie de supercucaracha lograra sobrevivir a la masacre, nada sobrevivirá a la muerte del Sol, que se producirá dentro de unos cinco mil millones de años, cuando agote su combustible de hidrógeno. Ocurrirán entonces varias cosas, pero en definitiva la temperatura del núcleo aumentará sustancialmente y, a consecuencia de ello, los organismos que entonces vivan por estos pagos del cosmos aprenderán, por última vez, la lección de que los gases, cuando se calientan, se expanden. El Sol se hinchará hasta 150 veces su diámetro actual, transformándose en una estrella gigante roja que, dependiendo de los cálculos en los que uno se base, o bien se tragará la Tierra enterita y la vaporizará, o bien se nos acercará lo bastante como para darnos un beso abrasador que reducirá nuestro amado hogar a cenizas. En cualquier caso, Robert Frost lo acertó: nuestro mundo acabará en fuego.

Antes de ese momento, obviamente, para sobrevivir nos habremos visto obligados a colonizar un exoplaneta. Para empezar, tendremos que averiguar qué exoplanetas tienen aire que podamos respirar, algo que podemos discernir con la ayuda de telescopios y espectros de absorción. A continuación tendremos que construir una gigantesca nave espacial para transportar personas a su nuevo hogar. Por suerte, gran parte de las materias primas que necesitamos para construir naves intergalácticas son abundantes en el espacio en forma de asteroides metálicos que podemos explotar. La minería de las rocas del espacio puede parecer algo descabellado, pero ya hay varias compañías mineras espaciales (algunas de ellas respaldadas por multimillonarios de Google y Microsoft), que de momento se dedican a explorar posibles candidatos entre las decenas de miles de asteroides cercanos a la Tierra. Unas sondas simples harían el trabajo de las mulas, arrastrando los asteroides hacia la Tierra para aparcarlos en punto gravitacionalmente estable donde podamos acceder a ellos.

Estas compañías mineras espaciales pretenden conseguir sus primeras ganancias con metales preciosos. Un asteroide de apenas quinientos metros de diámetro (una veintava parte del que mató a los dinosaurios) podría darnos más platino que todo el que se ha extraído de la Tierra en toda su historia. Más adelante, todo el hierro que quedase en el asteroide nos resultaría muy útil

para hacer fantásticas naves espaciales, que de hecho se podrían construir ya en el espacio, y tan grandes como queramos, puesto que no tendríamos que preocuparnos por lanzarlos desde la superficie de la Tierra.

Pero la verdadera recompensa de esos asteroides podría ser no tanto el platino o el hierro como el hielo adherido a su superficie. Para ponerlo en perspectiva, el objeto más grande del cinturón de asteroides, Ceres, tiene tanta agua dulce como todos los lagos y ríos de la Tierra juntos; la mayoría de los asteroides son más pequeños, pero sigue habiendo en ellos mucha agua que podemos aprovechar. Para viajar por el espacio, los seres humanos necesitarán esa agua para beber, y la escisión de  $H_2O$  serviría para producir hidrógeno y oxígeno que podríamos usar como combustible. A diferencia de los coches, que se mueven por fricción, las naves espaciales se mueven expulsando pequeños soplos de gas por detrás, lo que les imprime una cantidad de movimiento que nunca pierden por la resistencia del aire, inexistente en el vacío del espacio. (Y si a alguien le parece que unas minúsculas partículas de gas no pueden ser lo bastante potentes como para mover toda una nave, ¿qué puedo decir? Alguien no ha prestado atención a lo que explica todo este libro...) Lo mejor de todo es que estas naves podrían ir recogiendo hielo de otros asteroides o cometas que encuentren por el camino, que usarían como estaciones interestelares de combustible.

Romper las moléculas de agua también ofrecería a los exonautas del interior de la nave más oxígeno para respirar. La mayor parte de su oxígeno, sin embargo, probablemente lo obtengan de tecnologías mucho más antiguas de generación de gases: las plantas, que cultivarían en sus habitáculos. Los exonautas también tendrían que rellenar con nitrógeno la atmósfera interna de sus habitáculos, tanto para mantener la presión del aire a los niveles de la Tierra (quién quiere pasarse décadas destapándose los oídos) como para mitigar el riesgo de incendios, que queman desbocados en el oxígeno puro. En cuanto a cómo obtener ese nitrógeno, a la tripulación probablemente le bastaría con coger un poco del aire de la Tierra antes de partir. Al hacerlo, inevitablemente se llevarán también algo del argón y otros gases traza que forman parte de nuestra atmósfera, todos los cuales nos acompañarán en nuestro viaje a un nuevo hogar. Parece apropiado, habida cuenta de lo mucho que han intervenido esos gases en la historia de nuestra especie.

En cuanto a qué planeta dirigirnos, no faltan opciones, dado que en el universo hay aproximadamente tres mil trillones de estrellas. (Dicho de otra manera, necesitaríamos hacer varias inspiraciones profundas para inhalar tantas moléculas de aire, y el número de moléculas de aire en cada inspiración ya es de por sí ingente.) Estadísticamente, el planeta habitable más cercano podría estar a tan solo doce años luz, una distancia que, a medida que aumenta nuestra longevidad, un ser humano podría cubrir teóricamente durante su vida. Durante el viaje, las personas que habiten en la nave tendrán que hacer ejercicio constantemente para mantener suficientemente altas la densidad ósea y la masa muscular. (Sería de ayuda que algunas partes de la nave rotasen como una lenta centrifugadora, creando una gravedad artificial.) Aparte de esa ocupación rutinaria, dedicarán su tiempo a jugar a cartas y ver películas holográficas y tener hijos y debatir y hacer cualquiera de las otras cosas que hacemos los seres humanos. Los aficionados a la astronomía se lo pasarán en grande a bordo de la nave observando cómo mudan de forma las constelaciones (al menos un poco) a medida que cambia nuestra posición respecto a las estrellas. De vez en cuando, la nave espacial atravesará una bolsa de gas espacial, la materia prima de algún futuro sistema solar.

Por fin aparecerá nuestro nuevo hogar, un planeta que al principio no será más que un píxel, luego un pequeño borrón. Llegado ese momento, los científicos de a bordo comprobarán que el planeta realmente tenga el perfil atmosférico que le suponían. ¿Hay bastante oxígeno y ozono? ¿Demasiado hidrógeno o cloro? ¿Está la atmósfera cargada de óxido nitroso, el gas de la risa? ¿Nos convertiremos en idiotas lunáticos si salimos afuera y la respiramos? También tendremos que buscar todas las lunas que tenga, pues los planetas y sus satélites pueden tener atmósferas distintas, con una composición diferente de gases. Desde lejos, todos esos gases se mezclarían en un solo espectro de absorción porque no podremos separar la señal de unos cuerpos tan pequeños. Pero de cerca podríamos descubrir que algunos de los gases vitales serían del planeta, pero otros de alguna luna, lo cual no sería de mucha ayuda.

Si todo cuadrara con lo que requerimos, comenzaremos a examinar los colores del planeta a medida que nos acerquemos. Algunos tonos nos resultarán familiares: océanos tan azules como los de la Tierra, desiertos del



mismo color ocre. En cambio, dependiendo del espectro de emisión de nuestro nuevo sol, los bosques de «plantas» podrían ser rojizos o amarillentos en lugar de verdes. Por fin nos situaremos en órbita alrededor del planeta y podremos discernir la forma de sus continentes. Entonces tendremos que ser pacientes: cualquier planeta que podamos considerar un nuevo hogar tendrá una atmósfera lo bastante densa como para reducir a cenizas nuestra pesada nave si intentamos aterrizar. Pero algunos valientes exploradores podrían bajar en vehículos más pequeños y, unas horas más tarde, dar sus primeros y triunfantes pasos en el nuevo planeta.

Aun así, para la supervivencia a largo plazo de nuestra especie, lo que ocurriría a continuación sería mucho más importante. Dependiendo de la presión ambiente del aire, el grupo de exploradores podría percibir algunas cosas extrañas en ese planeta. Si la atmósfera fuese mucho más densa que la de la Tierra, cualquier organismo parecido a las plantas sería más bajo y estaría más firmemente anclado al suelo para prevenir que los vientos más fuertes lo tumbasen. Las cimas de las montañas serían más cálidas y fáciles de colonizar en este caso, puesto que dispondrían de más aire. Y los organismos voladores serían considerablemente mayores, puesto que les resultaría más fácil generar el empuje para ascender. De hecho, en el momento de salir de la nave, el grupo de exploradores tendría que pasar unos tensos momentos examinando el cielo en busca de depredadores. Finalmente, el momento por el que habremos viajado billones de kilómetros llegará cuando uno de los miembros del equipo haga una señal a sus compañeros y comience quitarse el casco.

Ese primer aliento de aire bien podría llevarlo a la muerte. Algunos gases traza, algo de lo que ni siquiera sabremos que tenemos que preocuparnos, podrían destrozarnos los pulmones o paralizarnos las neuronas. Más probable, sin embargo, sería que ese extraño gas nos quemase un poco la garganta, de forma no muy disimilar al primer aliento de un recién nacido. Los olores también podrían ser extraños, a humedad o vaho o a podrido. Pero probablemente no hubiera razón para asustarse o jadear. Se reirá un poco, aliviado, y llenará sus pulmones con unas pocas inhalaciones profundas.

Al hacerlo, ocurrirá algo asombroso. Todo el nitrógeno y otros gases de sus pulmones, el aire que llevó consigo desde su hogar, fluirá y se escapará. Al cabo de tanta distancia, aquella minucia de aire de su propio planeta saldrá al exterior y consagrará el aire de su nuevo hogar. La atmósfera de la Tierra y de ese nuevo planeta quedarán enlazadas para siempre. Lo mismo ocurrirá cuando los otros exonautas se quiten el casco y renueven el aire de sus pulmones, añadiendo a la mezcla sus propias moléculas traídas de la Tierra. Y como por término medio todos llevamos en nuestros pulmones una o dos de las moléculas que Julio César respiró en sus últimos momentos, varias de las moléculas de César estarán entonces haciendo piruetas por aquel aire, llevando su historia a aquel nuevo planeta.

No hay razón alguna para que nos limitemos a César. A medida que más y más personas desciendan desde la nave nodriza y vacíen sus pulmones, algunas de las moléculas que Harry Truman respiró en el monte Santa Helena, algunas de las que presenciaron las explosiones atómicas de Hiroshima y Bikini, algunas de las que se mezclaron con el óxido nitroso en los pulmones de Humphry Davy o de las que flotaban sobre el monte Everest mientras James Clerk Maxwell se preguntaba qué hacía que el cielo fuese azul, todas ellas también pasarán a formar parte del nuevo planeta. Y también algunas de las moléculas de nuestra propia vida, las del aire que se entretuvo en nuestros propios pulmones durante aquel primer llanto en la sala de partos, durante nuestro primer beso, durante nuestro último aliento muchos años después.

Cuando hablamos de finales, decimos «el polvo al polvo, las cenizas a las cenizas», pero no es del todo cierto; hay más. Cada molécula de nuestro cuerpo comenzó su vida siendo un gas, y mucho tiempo después de nuestra muerte, cuando un Sol rojo e hinchado se trague todo lo que nos rodea, todos esos átomos regresarán al estado gaseoso. Unas pocas y afortunadas moléculas incluso podrían gozar de una segunda oportunidad en algún otro lugar. Alguna pequeña parte de nosotros, unas moléculas que danzaron por nuestro cuerpo, que quizá incluso formaron parte de nuestro cuerpo, podrían continuar viviendo en algún mundo lejano. La idea de que alguna parte de mí siga viviendo después de mi muerte se parece mucho a algunas de las historias sobre el Cielo que escuchaba de pequeño, salvo que esta vez es cierto y realmente ocurrirá. Hemos pasado todo el libro hablando de millones y

trillones y quintillones de historias que danzan a nuestro alrededor, entrando y saliendo de nuestros pulmones a cada segundo. Podemos capturar la historia entera del mundo en un solo aliento. Viajar hasta otro planeta hará que, inevitablemente, de alguna humilde manera, esas historias sigan viviendo un poco más. El polvo al polvo, los gases a los gases.

## Agradecimientos

Como las moléculas de un aliento, fueron muchos los elementos que tuvieron que juntarse para hacer posible este libro, y una vez más debo maravillarme de lo generosos que han sido todos con su ayuda. Unas pocas palabras en una página no bastan para expresar mi gratitud, y si he dejado a alguien fuera de esta lista, sigo agradecido, aunque avergonzado.

Entre las personas que más quiero, deseo dar las gracias a mi padre por su amor a la ciencia y su elocuencia, y a mi madre por su capacidad para contar historias y por tener tan buen talante. (Creo no ha habido libro en el que no le haya hecho alguna broma.) Cada año me siento un poco más afortunado de conocer a mis hermanos Ben y Becca, y ha sido fantástico ver cómo mis pequeños sobrinos, Penny y Harry, se han convertido en auténticas personas. Es mucho lo que ha cambiado respecto a mis amigos de Washington, D.C., de Dakota del Sur y de otros lugares, pero más allá de los matrimonios, las mudanzas y todo lo demás, seguimos compartiendo buenos momentos.

Tanto mi agente, Rick Broadhead, como mi editor, John Parsley, vieron el gran potencial que tenía esta idea y me ayudaron a dar forma y pulir el libro de principio a fin. *El último aliento de César* no existiría sin ellos. También quiero expresar mi agradecimiento a todo el personal de la editorial Little, Brown que trabajaron conmigo en este libro y en otros, entre ellos Malin von Euler-Hogan, Chris Jerome, Michael Noon y Julie Ertl.

Por último, quiero enviar un agradecimiento especial a los muchos y muy sesudos científicos e historiadores que hicieron contribuciones a capítulos y pasajes concretos, bien dando más cuerpo a las historias, bien ayudándome a encontrar información o brindándome su tiempo para explicar algo. Son demasiados para referirlos aquí, pero pueden estar seguros de que no me he olvidado de su ayuda...

## Notas y miscelánea

¡Bienvenido a las notas finales! Cada vez que en el texto aparece un asterisco (\*), en esta sección se encontrará material adicional sobre el tema. Cada nota se puede leer en el momento de su llamada o, si se prefiere, se pueden leer juntas todas las notas de un capítulo como si fuera un epílogo. En cualquier caso, merecen la pena: prometo que en ellas se esconden algunas gemas.

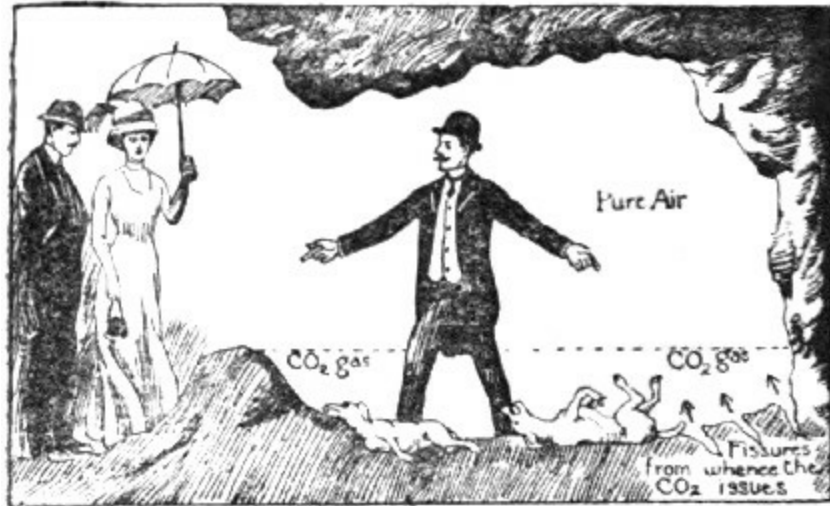
### 1. El aire de la Tierra primigenia

**unas 75.000 calorías:** Esta nota es un poco como una pregunta del Trivial: ¿dónde se almacena la mayor parte de la energía química de nuestro cuerpo? La mayoría de la gente diría que en la grasa o en los músculos, pero en realidad está en las moléculas de agua, en concreto en los enlaces O-H que sostienen las moléculas de  $H_2O$ : habrían hecho falta unas 550.000 calorías más para romper todos los enlaces O-H de Harry Truman y descomponerlo del todo en sus átomos constituyentes. (Y recordemos que las personas mayores tienen menos agua que las jóvenes. Para alguien de mi edad, esa cantidad ascendería a 670.000 calorías.) Como en el caso del resto de las cifras de cantidad de calor presentadas aquí, esta es solo una estimación, y quien parta de suposiciones distintas hallará valores distintos. En todo caso, nos dan una idea aproximada de cuánta energía contienen las moléculas de agua.

### Interludio. Un lago explota

**no vaya a ser que despierten algo maligno:** Los geólogos saben de algunos pocos lugares más donde de vez en cuando se levantan nubes de dióxido de carbono. Está Death Gulch (Barranco de la Muerte) en el parque nacional de Yellowstone, que ha matado a más de un insensato pajarillo o roedor, e incluso a algún que otro oso *grizzly*. También está Grotta del Cane (Gruta del Perro) en Italia, un popular destino turístico durante el siglo XIX. El pesado gas  $CO_2$  de la gruta se pega al suelo, y los visitantes de entonces se entretenían soltando perros pequeños en su interior para que correteasen hasta desmayarse. Por último, y sin duda el caso más inquietante, está el lago Monoun en Camerún. Se encuentra a tan solo 100 kilómetros del lago Nyos, y murieron allí treinta y siete personas en circunstancias siniestramente parecidas en agosto de 1994, asfixiados durante la noche cuando una nube de gas envolvió la región. Un geólogo

que visitó Monoun más tarde aquel mismo año intentó tomar muestras del fondo del lago y vio que las tapas de sus botellas salían disparadas de tanto gas que contenía el agua. Envío entonces a varias revistas científicas una noticia breve sobre el peligro que suponían los lagos de cráter, pero estas rechazaron la idea por inverosímil.



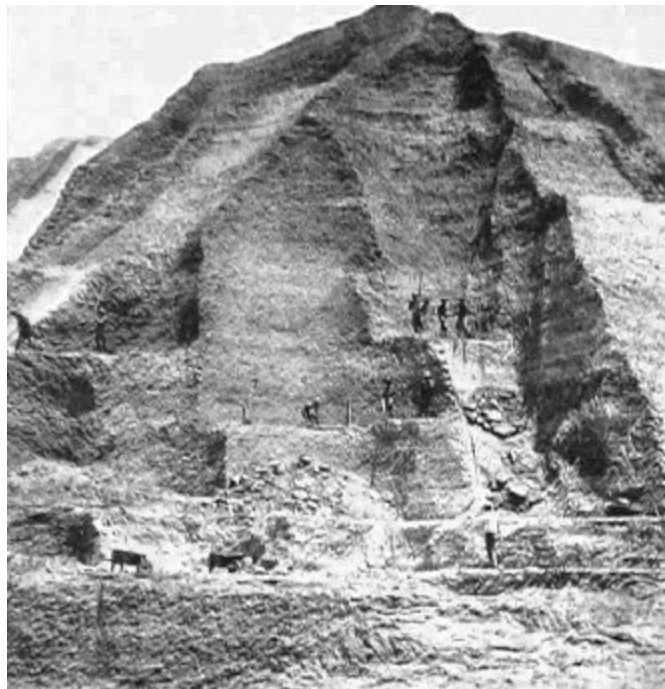
*La Grotta del Cane, en Italia, donde tiempo atrás, para entretenerse, los visitantes dejaban que los perros pequeños se desmayasen.*

La emisión de gas más mortífera de la historia se produjo en Islandia en 1783, cuando una fisura volcánica exhaló gases tóxicos durante ocho meses, llegando a liberar en total 7 millones de toneladas de ácido clorhídrico, 15 millones de toneladas de ácido fluorhídrico y 122 millones de toneladas de sulfuro de hidrógeno. La gente del lugar bautizó el fenómeno como *Móðuharðindin*, la «niebla de la dureza», por los extraños e irritantes vapores que emergieron, «un aire tan amargo como las algas que hedía a podrido», según recordaría un testigo. Las nieblas mataron el 80 por ciento de las ovejas de Islandia y la mitad de las vacas y caballos. También murieron diez mil personas (una quinta parte de la población), sobre todo por inanición. Cuando las nieblas, arrastradas por el viento, llegaron a Inglaterra, se mezclaron allí con el vapor de agua formando ácido sulfúrico y acabando con la vida de veinte mil personas más. Las nieblas también arrasaron cultivos en grandes áreas de la Europa continental, induciendo una escasez de alimentos a largo plazo que contribuyó a desencadenar la Revolución francesa seis años más tarde.

## 2. El demonio en el aire

**ha sobrevivido a todo lo que los volcanes escupieron:** Dejemos una cosa clara: el nitrógeno que comenzó a acumularse en el aire hace miles de millones de años provenía sobre todo de volcanes (ya fuera directamente o por descomposición de amoníaco de origen volcánico). Y buena parte de ese  $N_2$  todavía está con nosotros. Ahora bien, ciertas bacterias absorben y metabolizan nitrógeno, convirtiéndolo en productos útiles para los seres vivos, y otras bacterias pueden hacer el proceso contrario, liberando nitrógeno de vuelta al aire en forma de  $N_2$ . Así pues, aunque la mayor parte del nitrógeno que respiramos hoy proviene directamente de los volcanes, una parte puede haberse reencarnado varias veces en seres vivos durante todo ese tiempo.

**las islas Chincha, en la costa de Perú:** A causa de varias peculiaridades meteorológicas, casi nunca llueve en las islas Chincha. (Como la gente que ha crecido en Florida o California y nunca ha visto la nieve, la gente que vive cerca de las Chincha, sobre todo en el desierto de Atacama, en la costa de Chile, puede pasar la vida entera sin ver llover ni una sola vez.) Esta falta de humedad hace que el guano que se acumula allí sea especialmente potente, dado que el agua de la lluvia tiende a lavar los valiosos nutrientes que contiene a medida que se filtra por los depósitos hasta el suelo.



*Montaña de guano en las islas Chincha, en la costa de Perú. Los humanos a media altura dan una idea de la escala.*

Hacia la década de 1850, las islas Chincha exportaban millones de toneladas de guano al año, y los trabajadores que lo extraían sufrían algunas de las condiciones laborales más duras que jamás hayan experimentado los humanos. La mayoría habían sido secuestrados en China, Polinesia o Nueva Guinea, pero a los pocos días de estar en la isla ya resultaba difícil adivinar su etnia a causa de la costra de blanco polvo de guano endurecido por el sol que los envolvía. La absoluta falta de humedad les agrietaba los labios, la lengua y la nariz, y algunos incluso agotaban las lágrimas para lavar los humos amoniacales que invadían sus ojos. Hacían jornadas de veinte horas golpeando con sus picos aquellas heces de ave petrificadas y recogéndolas con sus palas, y cuando ya tenían las manos demasiado agrietadas como para sostener las herramientas, sus patrones les ataban los antebrazos a una carretilla para transportar el guano hasta los acantilados de la isla. Desde allí tiraban el guano por una rampa hasta unas barcazas que lo esperaban decenas de metros más abajo. A los pocos meses, muchos trabajadores se lanzaban por las rampas para suicidarse antes de pasar un día más de aquel tormento.



**codicia por el guano un siglo antes:** Varios individuos aprovecharon la Ley de Islas Guaneras para tomar posesión de islas que no existían: espejismos que habían visto marineros, espurias islas de Esto o Aquello que aparecían en antiguos mapas. Curiosamente, el hermano de Ernest Hemingway, Leicester, la invocó en 1964 para fundar la República de la Nueva Atlántida, una nación soberana que consistía únicamente en una balsa de bambú de dos y medio por nueve metros anclada frente a las costas de Jamaica. Leicester pretendía tomar posesión territorial del océano que la rodeaba con el fin de proteger hábitats marinos, y para recaudar dinero para su proyecto emitió varias series de sellos.

**empeoraron aún más el callejón sin salida:** He aquí un hecho peculiar: varios de los gases actualmente prohibidos en la guerra internacional puede usarlos sin embargo la policía de Estados Unidos para aplacar disturbios o cualquier alboroto de ámbito nacional. Claro que no hablamos del gas mostaza o el fosgeno, que son los gases lacrimógenos más irritantes, pero aun así el gobierno estadounidense parece creer que es inhumano y cruel usar ciertos gases contra combatientes extranjeros en una guerra, y del todo aceptable usarlos contra su propio pueblo.

**La noticia del patético final de Haber:** Antes de dejar a Fritz Haber, me gustaría examinar una faceta más de su historia: por qué su guerra química pareció (y todavía parece) cruel. Actualmente vivimos en la era de los Kalashnikovs y los ICBM, armas capaces de matar muchas más personas y más deprisa; sin embargo, los ataques con gas siguen produciéndonos un especial terror. ¿Por qué?

En primer lugar, a diferencia de, pongamos por caso, los principales científicos involucrados en el Proyecto Manhattan, Haber no expresó públicamente ningún tipo de remordimiento, aflicción o arrepentimiento por su papel en la guerra química. Más aún, las avispas que Haber encolerizó durante su vida siguieron picando tras su muerte. Como ya se ha mencionado, ocultó sus últimas investigaciones sobre guerra química bajo el disfraz de unas pesquisas sobre «insecticidas». Uno de esos insecticidas, Zyklon A, fue modificado más tarde en lo que se denominó

Zyklon B, el mortífero gas que se usó de preferencia para eliminar judíos (entre ellos algunos parientes de Haber) en Auschwitz, Dachau y otros campos de concentración nazis.

Otra de las razones por las que los ataques con gas nos producen tanto terror es que atacan a nuestra biología fundamental de un modo que ni las armas convencionales ni las cabezas nucleares pueden hacer. Creo que una breve digresión ayudará a dejar claro este punto. En mi libro anterior, sobre neurociencia, comenté el caso de una mujer llamada S. M. que, a causa de un daño cerebral, era incapaz de sentir miedo. Los científicos la llevaban a tiendas de animales exóticos para que cogiera serpientes y tarántulas, y la mujer ni parpadeaba. La llevaron a casas encantadas y le mostraron películas de terror, y se encogió de hombros. Varias veces estuvo a punto de morir (en una ocasión un ladrón le puso una navaja en el cuello en un parque) y no se perturbó en lo más mínimo. Ni corazón desbocado, ni sacudida de pánico, nada de nada. Los científicos llegaron a la conclusión de que era incapaz de sentir miedo por nada.

Pero resulta que eso no era del todo cierto. Solo por ver qué pasaba, un día los médicos de S. M. llenaron un tanque con aire enriquecido con dióxido de carbono y le pidieron a su paciente que lo inhalara a través de una máscara. Conviene saber que cuando estamos bajo el agua, no es la falta de oxígeno lo que nos provoca el pánico, sino la acumulación de CO<sub>2</sub>. Pero a la vista de su incapacidad para atemorizarse en cualquier otra situación, los médicos pensaban que también en este caso se mostraría tranquila. Para su sorpresa, al cabo de unas pocas inhalaciones S. M. comenzó a dar alaridos, llevándose las manos a la máscara con la intención de quitársela de la cara. Aquello, aquel simple gas, todavía podía aterrorizarla. A partir de este experimento y otros, los científicos llegaron a la conclusión de que los seres humanos tienen escondido en su cerebro un segundo sistema del miedo, independiente del primero, que sigue muy de cerca nuestro suministro de aire.

Esta es, según creo, la razón de que las investigaciones de Haber nos horroricen tanto. Cuando no podemos respirar perdemos la razón, nos dejamos llevar por la agitación. Es un miedo totalmente biológico, y

cualquier cosa que afecte a nuestro suministro de aire toca en nuestro cerebro unas conexiones a las que no tienen acceso ni las balas ni otras armas modernas. Es algo parecido al hecho de que las serpientes y las arañas nos produzcan mucho más terror del que nunca nos podrán producir los coches, pese a que es muchísimo más probable morir a causa de un accidente de circulación. El aire tóxico forma parte del panteón de los miedos más primarios.

En conjunto, Haber me parece uno de los personajes más fascinantes de la historia de la ciencia. Nadie encarna mejor la naturaleza fáustica de la ciencia, la promesa y el peligro que nos ofrece a un tiempo. Un colega de Haber dijo de él en una ocasión: «Quería ser simultáneamente tu mejor amigo y Dios». Falló en ambas pretensiones, y la decepción que sentimos hacia Haber es más amarga aún a causa de su anterior estado de gracia.

Interludio. Un arma peligrosa

**químicamente parecidas:** Está claro que la oxidación (de hierro) y la combustión no son lo mismo; para empezar, la oxidación suele requerir agua, en tanto que el agua tiende a apagar las llamas. Además, ambos procesos pueden producir varios tipos distintos de óxidos de hierro, dependiendo de las circunstancias. Sin embargo, químicamente tienen mucho en común, pues en ambos casos los átomos de oxígeno atacan el hierro produciendo nuevos compuestos.

3. La maldición y bendición del oxígeno

**experimentos con materiales cotidianos:** El amateurismo de Priestley se deja ver también de otros modos, aparte de su burdo instrumental. Para empezar, incluso en sus artículos científicos a menudo confiesa lo mucho que le sorprenden los resultados de sus experimentos. A uno le da la impresión de que debía andar boquiabierto la mitad del tiempo, murmurando y sacudiendo la cabeza, perplejo. Me encantan estas confesiones porque captan la esencia misma de lo que suele atraer a las personas a la ciencia: el gozo que produce descubrir algo nuevo sobre el mundo natural. Y no puedo dejar de pensar que los estudiantes podrían aprender mucho más sobre la ciencia a partir del estilo de Priestley, que anotaba con honestidad lo que sentía a cada paso, que del estilo prístino, casi gélido que predomina en el discurso científico en nuestros días.

**le pidieron a Lavoisier que lo investigara:** Tres años después de sus trabajos para la marina francesa, Lavoisier entró en la Régie des Poudres, que producía pólvora para el ejército. Antes, la Régie era una típica agencia del gobierno, infectada de pereza y despilfarro, pero Lavoisier puso firmes a sus nuevos subalternos y Francia no tardó en ser autosuficiente por vez primera en el suministro de pólvora. Incluso comenzó a exportarla a Estados Unidos, que probablemente no habría conseguido la independencia de no ser por su ayuda, puesto que Gran Bretaña había dejado de proveer a las colonias.

**bacterias anaerobias:** Cuando alguien muere, las bacterias comienzan a descomponer el cuerpo, y aunque a ello contribuyen tanto bacterias aerobias como anaerobias, son estas últimas las que producen los gases hediondos que asociamos a la carne podrida. Entre estos están dos moléculas de nombre apropiado: la putrescina,  $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$ , y la cadaverina,  $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$ .

**que «inhalan» a través de los poros de su piel:** Es fácil imaginar que las estructuras aéreas como los frutos, las flores y los tallos leñosos puedan «inhalan» oxígeno. Y, naturalmente, las partes verdes de las plantas pueden usar el oxígeno que producen durante la fotosíntesis. Pero ¿cómo «respiran» las raíces de las plantas? Por suerte, el aire puede penetrar con facilidad en el suelo, que es bastante poroso, sobre todo porque los gusanos de tierra no paran de ingerirlo y desmenuzarlo. (Charles Darwin fue quien descubrió este hecho sobre los gusanos en una serie de experimentos.) Esto también explica por qué muchas plantas no pueden sobrevivir en aguas estancadas: sus raíces se ahogan por culpa del poco oxígeno. En otras palabras, bajo el agua las plantas se mueren básicamente por la misma razón que lo hacemos los seres humanos.

#### 4. Un hilarante gas que obra prodigios

**sodio:** No puedo resistir la tentación de transmitir este *clerihew*<sup>1</sup> sobre el supuesto remordimiento de Davy por haber descubierto uno de estos elementos:

*Sir Humphry Davy*

*detestaba el gravy.*

*Vivía en el odio*

*de descubrir el sodio.*

Más adelante, en este mismo libro, nos ocuparemos de la refrigeración con gases, que ha servido de inspiración para otro estupendo *clerihew* sobre el pionero de las bajas temperaturas James Dewar:

*Dewar, el profesor,*

*es de todos el mejor.*

*Tú de listo no te pases:*

*no puedes condensar gases.*

**una manera barata de colocarse:** Un pueblo de Irlanda tenía tasas tan altas de adicción al éter que dicen que se podía oler a medio kilómetro de distancia. Aparte de inhalar éter, la gente del lugar solía beberlo con leche. A algunos se les encendía la boca en llamas si fumaban tabaco después de beber la mezcla.

**incluso algunos peces:** Dada la similitud de nuestros pulmones y sistema nervioso, no me sorprendió saber que la anestesia también funciona en otros animales, pero sí me dejó desconcertado aprender que funciona incluso en algunas plantas. Se puede anestesiar una atrapamoscas, por ejemplo, y dejará de cerrar los lóbulos de su trampa cuando sobre ellas se pose un insecto. Este hecho ha desencadenado toda suerte de debates filosóficos entre los botánicos sobre si las plantas tienen algún tipo de lenta consciencia o inteligencia.

**aparecieron reclamaciones parecidas:** El principal rival de Morton era Charles Thomas Jackson, un maníaco médico de Nueva Inglaterra que puede o no haber sido el primero en sugerir el uso del éter como anestesia mientras estaba en compañía de Morton. Jackson gozaba de una gran ventaja retórica en esta disputa: su cuñado, Ralph Waldo Emerson, que durante décadas defendió en público la reivindicación de Jackson. (Como curiosidad, fue una de las hijas de Jackson quien presentó a Emerson y Henry David Thoreau.) Jackson también se vio involucrado en una disputa con Samuel Morse sobre los orígenes del telégrafo. Al parecer, Jackson tuvo un montón de ideas revolucionarias, pero le faltó la iniciativa o el coraje para hacer algo más que parlotear sobre ellas.



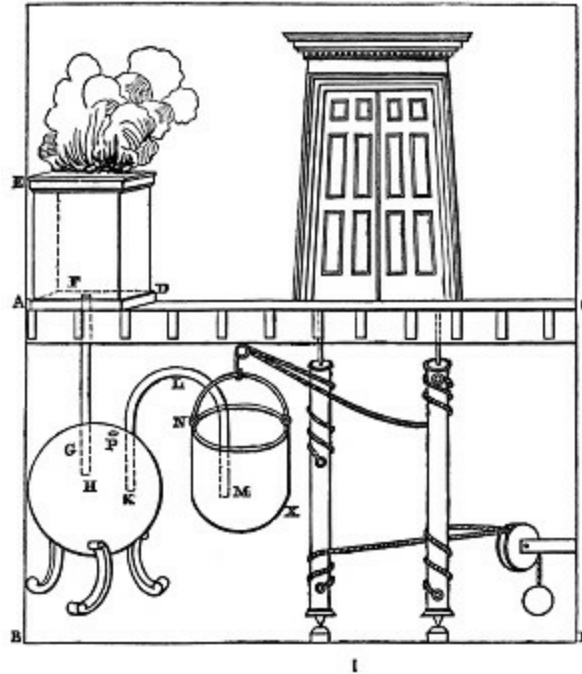
*Charles Thomas Jackson, inventor brillante pero incompetente.*

Interludio. Le Pétomane

**¿por qué no «hablamos» por el trasero?:** Para una explicación completa de por qué no hablamos por el culo (al menos la mayor parte del tiempo), véase el delicioso libro de Robert Provine sobre la funciones corporales, *Curious Behavior*.

5. Caos controlado

**la naturaleza lo aborrece [el vacío]:** Curiosamente, la física cuántica nos dice que al final el viejo Aristóteles podría haber tenido razón, puesto que ni siquiera el vacío está del todo vacío: en su interior nacen y mueren constantemente partículas subatómicas. Los vacíos también tienen una densidad de energía intrínseca, lo que significa (por  $E = mc^2$ ) que contienen masa. De hecho, esta densidad de energía podría ser la misteriosa «energía oscura» que los cosmólogos creen que es la causa de la expansión del universo.



*Un dispositivo para abrir de forma automática las puertas del templo con energía de vapor, inventado por Herón de Alejandría en el siglo I d.C.*

**Los seres humanos ya llevaban mucho tiempo usando agua para mover máquinas:** Los antiguos griegos inventaron varias máquinas de agua para llevar la cuenta del tiempo y para moler el grano, entre otros fines. Herón de Alejandría en el siglo I d.C. llegó incluso a construir robots movidos por vapor que cantaban y bailaban. (De verdad.) Los sacerdotes también usaban sus inventos en los templos para cerrar puertas y mover objetos sobre los altares sin que nadie los tocara. No era simple entretenimiento de prestidigitación, sino que sus fieles, pasmados, suponían que los sacerdotes podían invocar el poder de los dioses u otros espíritus a voluntad. La diferencia entre Herón y Watt es que Herón parece haberse limitado a construir juguetes, mientras que Watt construía motores de vapor para hacer trabajo físico. No es que los juguetes tengan nada de malo, naturalmente; de hecho, muchas tecnologías comienzan por ahí. Pero el caso es que nadie llevó más allá los inventos de Herón.

**en ningún lugar de la Tierra:** Como las bombas de vacío de la Tierra no pueden elevar el agua más arriba de los diez metros, también las pajas para beber fallan a partir de esa altura: si se intenta aspirar un zumo desde un cuarto piso, no se consigue beber ni una gota.

Pero ¿y en Venus? La presión ambiental en Venus es noventa veces mayor que en la Tierra, lo que significa que allí el aire puede empujar con una fuerza noventa veces mayor. Y lo que es aún mejor, como Venus es ligeramente más pequeño que la Tierra, los líquidos que ascendieran por una paja sentirían menos el tirón de la gravedad (alrededor de un 10 por ciento menos). En suma, en Venus se podría chupar agua con una paja desde una altura de 1.000 metros. En cambio, en Marte solo se podría aspirar por una paja hasta unos 18 centímetros, de tan baja que es allí la presión del aire (0,6 por ciento la presión del aire en la Tierra). En la Luna, que prácticamente no tiene atmósfera, una paja tan solo conseguiría subir el agua hasta 17 billonésimas de centímetro.

**libera todos esos gases casi al instante:** La nitroglicerina explota miles de veces más rápido incluso que un airbag. La mayoría de los airbags producen gas enviando un pulso de electricidad a través de sustancias químicas como la azida de sodio ( $\text{NaN}_3$ ), que se descompone en sodio puro y gas  $\text{N}_2$ . En condiciones estándar de presión y temperatura, bastan 100 gramos de  $\text{NaN}_3$  para producir 50 litros de gas en 0,04 segundos. Impresiona, pero 100 gramos de nitroglicerina en las mismas condiciones producen 70 litros en una décima parte de ese tiempo.

Interludio. Acerados frente a la tragedia

**Shakespeare había situado cerca de allí la acción de *Macbeth*:** Ya que hablamos de la obra escocesa, antes de convertirse en un torpe poeta, McGonagall había intentado ganarse la vida como un torpe actor. (De hecho, no escribió un solo poema hasta la edad de cincuenta y dos años.) Lamentablemente, no era más competente en las artes escénicas que en las poéticas. Fue especialmente deplorable su actuación en escena en el papel de Macbeth. Sabedor del desastre que sería, se cuenta que el empresario del teatro le hizo pagar por el honor de interpretar el papel, y no decepcionó. Cuando llegó el momento en que Macduff tenía que asesinarlo y poner fin a la tragedia, McGonagall se negó a morir. Incluso se giró hacia el otro actor blandiendo su espada y casi le rebana una oreja. Macduff tuvo que placarlo y arrastrarlo fuera del escenario.



**monóxido de carbono (CO):** Como curiosidad, el monóxido de carbono mata a las personas porque se une al hierro aún más ávidamente que el oxígeno. En el interior de los glóbulos rojos de la sangre hay una molécula llamada hemoglobina que contiene varios átomos de hierro en su núcleo, y son estos átomos los que atrapan el oxígeno y lo transportan hasta las células. Sin embargo, si en la sangre hay monóxido de carbono (porque lo hayamos inhalado), el CO da un codazo al oxígeno y ocupa su lugar pegado a la hemoglobina. A consecuencia de ello, los glóbulos rojos ya no pueden transportar oxígeno. Para acabar de empeorar las cosas, el monóxido de carbono es realmente difícil de descomponer: CO tiene el enlace más fuerte de la naturaleza, un triple enlace aún más duro que el de N<sub>2</sub>.

## 6. Hacia el cielo

**Montgolfier concibió el primer globo aerostático del mundo:** Otras fuentes cuentan que fue una secuencia de acontecimientos distinta la que inspiró el globo de aire caliente. En este caso, Montgolfier estaba reflexionando acerca de un recorte de periódico sobre el largo sitio de Francia a Gibraltar, un fuerte impenetrable por tierra o por mar. En medio de sus pensamientos, supuestamente miró hacia arriba y vio cómo unos trozos de papel y ceniza se elevaban sobre el fuego del hogar. Parecía casi como si volasen, y de repente se le ocurrió una manera de atacar Gibraltar desde el aire.

**las burbujas se expandían ... y el champán perdía fuerza:** A casi todos se nos ha caído en algún momento una lata de cerveza o de un refresco carbonatado y algún amigo nos ha aconsejado que antes de abrirla le demos unos golpecitos en la parte de arriba o en los lados para impedir que la bebida salga a presión. He aquí por qué. Cuando sacudimos una bebida carbonatada, se forman burbujas de dióxido de carbono en la superficie interior del metal. Al dar unos golpecitos a la lata, las burbujas se despegan y ascienden, acumulándose en lo alto, de manera que cuando abrimos la lata unos instantes más tarde, las burbujas, que ya no están sumergidas en el líquido, no lo arrastran con ellas cuando salen disparadas. La bebida tendrá menos gas, pero al menos la mano quedará seca y el suelo limpio.

**la palabra griega que significa «perezoso»:** La palabra «argón» aparece en el Nuevo Testamento, que fue escrito en griego. En la parábola de los jornaleros de la viña (Mateo 20:3), Jesús dice: «Y saliendo cerca de la hora de las tres, vio otros que estaban en la plaza ociosos [*argon*]».

Por cierto que los otros elementos químicos que se citan en la Biblia son oro, plata, plomo, hierro, cobre, estaño y azufre.

**llamó a este gas helio:** El descubrimiento del helio en el sol por un astrónomo francés tullido llamado Jules Janssen es una historia inspiradora. Janssen también tiene un vínculo con la historia de los globos porque, demostrando bastante coraje (con el riesgo de ser ejecutado como espía si no lo hacía), en 1879 escapó del sitio impuesto por el ejército alemán sobre París volando en un desvencijado globo con el objetivo de observar un eclipse en África. La historia completa no cabe en una nota, pero la he contado en mi página web, véase <http://samkean.com/extras/clb-notes.html>.

También encontrará allí el lector notas sobre otros temas. Y si lo desea, también puede enviarme un mensaje: me encanta el contacto con mis lectores: <http://samkean.com/samkean.php#contact>.

**de todos los gases nobles:** Exagero un poco al decir que Ramsay tuvo algo que ver con el descubrimiento de todos los gases nobles, pues esta columna de la tabla periódica incluye ahora el elemento 118 (oganesón), que no se descubrió hasta 2006. Ahora bien, como el 118 es un elemento pesado, probablemente tenga una estructura electrónica distorsionada y por consiguiente podría no comportarse como un gas noble. Nadie lo sabe.

**el viejo gruñón de Mendeléyev esbozó una sonrisa:** Mendeléyev aprendió su lección demasiado bien, y comenzó a ver gases nobles donde no existían. Por aquel entonces, la física estaba encarando una crisis relacionada con las ondas de luz. Por lo que sabían los científicos, todas las ondas necesitaban un medio por el que propagarse: las olas del mar necesitan agua, las del sonido aire, la Ola necesita forofos del fútbol embriagados, etc. Por analogía, las ondas de luz se suponía que necesitaban un medio denominado éter luminífero. El problema era que nadie lo había visto nunca ni tampoco detectado en experimentos pese a

décadas de búsqueda. Así que, en un momento de entusiasmo, Mendeléyev acudió a la tabla periódica para rescatar a los físicos. Propuso que el éter era un gas noble muy pequeño, muy sutil, llamado newtonio, que permeaba toda la materia. Y con lo de pequeño quería decir básicamente infinitesimal: estimó la masa del newtonio en una diez mil millonésima de un átomo de hidrógeno. Se desató un encendido debate en 1905, cuando la teoría de la relatividad de Einstein dio al traste con la necesidad de un éter luminífero, pero durante algunas décadas, los gases nobles parecían explicar la naturaleza de la luz.

**Bastaban el nitrógeno, el oxígeno y el argón:** Bueno, no exactamente, pues Rayleigh pasó por alto algo que habría acabado (debería haber acabado) con su teoría. El problema surge de una propiedad de las ondas llamada interferencia. Imaginemos dos rayos de luz a punto de colisionar. Si están perfectamente desincronizados (es decir, si uno tiene las crestas justo allí donde el otro tiene los valles, y viceversa), entonces al encontrarse se cancelan el uno al otro. Es decir, se destrozan mutuamente y no queda nada. Y resulta que en una atmósfera en la que el aire estuviera uniformemente distribuido, toda la luz azul que se dispersara casi con seguridad se enfrentaría a su muerte durante su viaje hacia el suelo. En consecuencia, toda esa luz azul debería quedar anulada antes de alcanzar nuestros ojos.

Lo que salva la explicación de Rayleigh es que nuestra atmósfera es casi, casi uniforme, pero no del todo: se producen unas pequeñísimas fluctuaciones de densidad que bastan para rescatar su explicación. Si alguien se pregunta quién se dio cuenta de ello y salvó a Rayleigh, fue un individuo llamado Albert Einstein.

#### 7. Las repercusiones de la lluvia radiactiva

**las cabras se sometieron primero a un condicionamiento:** Escogieron cabras por una razón. Durante la primera guerra mundial, los psicólogos interesados en la neurosis de guerra necesitaban un modelo animal para sus estudios, así que un antiguo estudiante de Iván Pávlov abrió un laboratorio en la Universidad de Cornell donde básicamente pasó varios años metiendo miedo a animales de granja para provocarles una neurosis. (Los periodistas le pusieron el mote de «granja de los horrores».) Los

conejos resultaron ser demasiado simplones para la tarea, pues raramente desarrollaban un complejo a causa de los ruidos elevados. Los cerdos y los perros eran demasiado listos; su comportamiento era demasiado complejo y sus reacciones demasiado variadas. Las cabras resultaron ser perfectas. Y el psicólogo que estaba al cargo de los estudios aprendió algo importante sobre la neurosis de guerra, a saber, que no son las propias explosiones las que ponen nerviosas a las personas, ni siquiera las heridas que causan, sino la *anticipación*: es el estrés de pensar en ellas hora tras hora, noche tras noche, lo que realmente afecta a las personas y hace que se desmoronen.

Sea como fuere, los experimentos con las cabras psicóticas de Bikini fracasaron. Tal como unas filmaciones revelaron posteriormente, las cabras apenas parpadearon cuando estalló la bomba. Habían estado comiendo heno antes, y siguieron masticando después, sin perturbarse. (Por cierto que la filmación también capturó una rata que estaba pariendo en el momento de la explosión; los científicos apodaron a las tres crías Alfa, Beta y Gamma.)

**El Proyecto Manhattan no fue tanto un avance científico:** No lo digo yo. El mismísimo Richard Feynman dijo: «Toda la ciencia paró durante la guerra salvo por la poca que se hizo en Los Álamos. Y aquello tampoco era mucha ciencia. Era sobre todo ingeniería». Así que es interesante preguntarse por qué los físicos del Proyecto Manhattan todavía reciben la parte del león del crédito mientras que los químicos y los ingenieros permanecen en el anonimato. Creo que entran en juego varios factores. Uno es que había fuertes caracteres entre los físicos: el bufón de la corte Feynman, el Prometeo americano Robert Oppenheimer, el sabio extranjero Enrico Fermi, el espía soviético Karl Fuchs, y tantos otros. Aparte de Glenn Seaborg, entre los químicos no había grandes nombres, y Seaborg no era precisamente el carisma hecho carne. Además, los físicos puedes ser bastante chovinistas cuando se trata de su campo de estudio, y fue un físico quien preparó el primer informe oficial sobre la bomba, en el que restó importancia al papel de los químicos y, por lo tanto, marcó el hilo argumental que seguirían los futuros historiadores. Por último, los físicos habían publicado la mayor parte de sus investigaciones sobre la

fisión nuclear antes de la guerra, de manera que era conocimiento público y se podía citar libremente en los reportajes. Los detalles químicos del enriquecimiento de uranio y plutonio, en cambio, se mantuvieron en secreto.

**jactancioso desdén:** He aquí un ejemplo de la década de 1930. En una conferencia pública sobre los prodigios de la relatividad, el futuro premio Nobel Ernest Lawrence se trajo un vial de sodio radiactivo para una demostración. Por desgracia, era tan radiactivo que saturaba el contador Geiger que tenían a mano, de modo que Lawrence preparó con el sodio un poco de agua con sal y llamó al escenario a su colega Robert Oppenheimer, quien se la bebió de un trago. Un minuto más tarde, Oppie rodeó con sus manos el detector de radiación, que repiqueteó como una ardilla, y todos rieron alegremente.



*Refugio nuclear típico de la década de 1950. (Fotografía por gentileza de National Archives.)*

**entre los supervivientes:** Además de testar lo bien que resistían los edificios a las explosiones nucleares, el gobierno también quería saber lo bien (o mal) que soportaban las personas varias semanas de confinamiento en un refugio nuclear. Algunas personas se lo tomaron como una diversión (una pareja pasó allí la luna de miel), pero la mayoría salió con aspecto sombrío. Una familia se dio a la bebida, y hasta su hijo de tres años

recibía algún chupito para que se callase. Otra familia usó el pozo de ventilación construido en la estructura a modo de recompensa. Como se puede imaginar, ir al lavabo en un espacio tan limitado producía bastante mal olor, así cuando los niños se comportaban bien durante unas pocas horas, los padres les dejaban accionar la palanca que extraía los gases hediondos al mundo exterior. En definitiva, veían los refugios como una aventura al principio, pero hacia el cuarto día se hundían y les parecía que apestaba.

**La cultura pop también tuvo su peso:** No toda la cultura pop ridiculizaba las armas nucleares. El primer libro ilustrado de Maurice Sendak, que más tarde haría *Where the Wild Things Are* [*Donde viven los monstruos*], se titulaba *Atomics for the Millions*, y su tono era en general positivo. Aunque la verdad es que Sendak no lo entendía demasiado. Se había embarcado en el proyecto solamente porque había suspendido todas las clases de ciencia en el instituto y necesitaba al menos un aprobado. Su profesor de ciencias, el autor del libro, le pagó 100 dólares y le dio un buen montón de puntos extra por dibujar unos átomos antropomorfizados experimentando una fisión. Sendak se calificaría a sí mismo más tarde como «el chico más tonto que tenía en su clase. [...] Tuvo que explicarme cada dibujo».

**producen en nuestros tejidos daños de la misma magnitud:** Determinar los efectos biológicos de las partículas radiactivas no es nada fácil. Cada elemento libera distintas partículas con tasas distintas, y algunas partículas son más dañinas que otras. (Y lo que es más, algunas partículas son relativamente inocuas fuera del cuerpo pero destrozan los tejidos cuando se inhalan o se tragan.) Para acabar de complicarlo, cada tejido del cuerpo absorbe de forma distinta las distintas partículas radiactivas, y no todo lo que absorbemos produce daños biológicos. Ciertamente he simplificado mucho las cosas en este capítulo al reducirlo todo a «placas de rayos X». Pero la alternativa, que era usar una veintena de unidades diferentes con sus notas a pie de página para explicarlas, me pareció peor. Mi método es imperfecto, lo reconozco, pero al menos permite establecer algunas comparaciones.

**la prueba Bravo:** En total, entre 1946 y 1958 Estados Unidos hizo explotar 67 bombas nucleares en Bikini y el cercano atolón Enewetak, con una potencia conjunta de 7.200 bombas de Hiroshima. Eso equivale a 1,6 Hiroshimas al día durante doce años. Increíblemente, incluso después de tan fenomenal bombardeo, el ejército de Estados Unidos aún prometía a los nativos de Bikini que podrían regresar a sus hogares en cualquier momento. Los militares llamaron a su programa de reasentamiento Proyecto Hardy — El regreso del nativo<sup>2</sup> (¡ay!). No llegaron a ponerlo en práctica.

Bravo no fue, por cierto, la mayor bomba atómica jamás detonada. Ese honor le corresponde a la Bomba Zar de la Unión Soviética, que liberó una potencia de 3.000 Hiroshimas en la remota isla siberiana de Nueva Zembla el 30 de octubre de 1961. A diferencia de las modernas y refinadas armas nucleares, esta pesaba 27 toneladas y rompió ventanas a 900 kilómetros de distancia.

Interludio. Albert Einstein y la nevera popular

**casi se atraganta con los huevos:** Como sé que el lector es curioso, aclararé que Einstein solía desayunar huevos fritos o revueltos acompañados de una tostada o un panecillo. En cuanto a sus otros hábitos culinarios, al parecer comía tanta miel que su servicio la compraba a cubos. Otras de las delicias preferidas por Einstein eran la sopa de huevo, el salmón, la mayonesa, los fiambres, los espárragos, el cerdo con castañas y el merengue de fresa. Le gustaba la carne bastante hecha. «No soy un tigre», le dijo una vez a su cocinero.

**con el tiempo se consiguió licuar los seis:** Aunque licuar estos gases fue un gran logro, a algunos se les fue un poco la mano a la hora de celebrarlo. Cuando el científico suizo Raoul Pictet licuó el aire, el titular de la noticia en un periódico de Brooklyn rezaba: «Pictet, grande entre los sabios, llama al líquido Elixir de la Vida y declara que acabará con la pobreza en la Tierra».

Curiosamente, los seis «gases permanentes» se consiguieron licuar antes que el helio, el gas más obstinado de la naturaleza, que no se pudo licuar hasta 1908. (El helio, que tiene su punto de ebullición a  $-269$  °C, se lo incluyó en el grupo canónico de los seis porque a principios del

siglo XIX todavía no se había descubierto.) Aún hoy, no es fácil mantener el helio frío. En 2008, una avería en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC, por sus siglas en inglés) del CERN hizo que pasaran a gas seis toneladas de helio líquido, e hizo falta un año y decenas de millones de dólares para conseguir que todo volviera a funcionar.

**se habían cambiado a este clorofluorocarbono:** Lo que sigue hay que clasificarlo en la carpeta de las consecuencias inesperadas. Estados Unidos prohibió la producción de clorofluorocarbonos (CFC) dentro de sus fronteras el 31 de diciembre de 1995. Sin embargo, el gobierno permitió que los negocios que dependieran de los CFC (como los talleres mecánicos de automóviles, que los usaban para rellenar las unidades de aire acondicionado) pudieran seguir usando CFC reciclado o comprarlo en el extranjero. En otras palabras, la demanda se mantuvo constante mientras el suministro se reducía considerablemente. Como cualquier profesor de economía podría haber predicho, el precio se puso por las nubes. Algunos espabilados comenzaron a traficar con CFC de estraperlo, pues en China, la India o Rusia la producción de estos gases rondaba los 4 dólares por kilogramo, y en el mercado negro alcanzaba los 40 dólares. A finales de la década de 1990, el contrabando introducía en Estados Unidos decenas de miles de toneladas de gases CFC ilegales, sobre todo a través de Florida y Texas. En Miami, los CFC eran el segundo producto más lucrativo del mercado negro, por detrás de la cocaína.

#### 8. Las guerras meteorológicas

**Robert FitzRoy, el capitán del *Beagle*:** Los patrocinadores del *Beagle* no escogieron a Charles Darwin como naturalista de a bordo porque valorasen sus conocimientos de plantas y animales, sino por su estatus como caballero culto, alguien con quien FitzRoy pudiera conversar durante el viaje. Pero no fue una simple gentileza hacia FitzRoy: el anterior capitán del *Beagle* se había vuelto loco de atar por no tener nadie con quien hablar y se había suicidado.





*Robert FitzRoy.*

Años después, a medida que ascendía por el escalafón de la marina británica, FitzRoy redobló sus esfuerzos por predecir el tiempo, y lo cierto es que se granjeó unos cuantos enemigos entre los hombres de negocios británicos por prohibir la salida de los barcos de pesca los días que preveía tempestades. (Los pescadores, naturalmente, lo tenían por su héroe.) Por desgracia, aunque Darwin lograra impedir que la negra garra de la depresión alcanzase a FitzRoy durante su viaje, el capitán no pudo mantenerla siempre apartada, y acabó por suicidarse en 1865. Irónicamente, Darwin probablemente contribuyese de algún modo a la muerte de su compañero de viaje. FitzRoy era profundamente religioso, y siempre se había sentido culpable de que alguien bajo su mando, en su barco, hubiese soltado en el mundo el azote del darwinismo.

**la magia de la ley de los gases ideales:** Los truenos son otro ejemplo de cómo influyen las leyes de los gases en el tiempo atmosférico. Los destellos de los relámpagos producen un pico de temperatura en el aire que los envuelve. Este aumento súbito obliga al aire a expandir su volumen, lo que a su vez genera la onda de sonido. Los rayos y relámpagos alcanzan temperaturas tan altas (unos 30.000 °C, cinco veces más caliente que la superficie del Sol) que el aire circundante pasa a estado de plasma, el mismo supergás que se forma en las explosiones nucleares.

**conocido como turbulencia:** La turbulencia tiene la reputación de ser uno de los temas más obstinadamente complejos de la ciencia. En 2000, el Instituto de Matemáticas Clay ofreció una recompensa de un millón de dólares a quien lograra hacer un progreso significativo en la resolución de las ecuaciones que gobiernan la turbulencia (las ecuaciones de Navier-Stokes). Nadie se ha llevado el premio todavía, y no se espera que se lo lleve nadie en el futuro cercano. En su lecho de muerte, en 1976, el físico cuántico Werner Heisenberg supuestamente anunció que cuando se encontrara con Dios le haría dos preguntas: ¿por qué gobierna la relatividad la estructura a gran escala del universo? Y ¿por qué los fluidos como el aire y el agua se tornan turbulentos al fluir? «Creo de verdad», susurró Heisenberg, «que podría tener una respuesta para la primera pregunta».

Interludio. Rumores desde Roswell

**el ruido choca con nuestro oído:** Conviene aclarar que cuando alguien habla, las moléculas de aire que salen de su boca no vuelan por la habitación hasta llegar a nuestro oído. El sonido no es un viento. Lo que ocurre es que cada colisión simplemente transmite la *energía* que tenían esas moléculas originales. (Naturalmente, como en el caso del aliento de César, algunas de las moléculas de la boca del hablante llegan a alcanzarnos en algún momento, puesto que se difunden por el aire, pero eso no ocurrirá hasta mucho tiempo después de que el sonido se haya disipado.)

**los ruidos más intensos:** Cuando el Krakatoa saltó por los aires, en 1883, el ruido de la explosión le rompió el tímpano a varios marineros a más de ciento cincuenta kilómetros del estallido, y las ondas de presión que generó la erupción estuvieron cinco días dando la vuelta a la Tierra. Por supuesto, el ruido ya no era tan audible, pero ciudades tan alejadas como Toronto o Londres siguieron registrando fluctuaciones en sus barómetros cada treinta y dos horas (el tiempo que tarda un sonido en dar la vuelta al mundo).

**quien primero descifró la física del canal de sonido en 1944:** Ewing también descubrió un canal de sonido en el océano. La temperatura del agua desciende con la profundidad, y el sonido se frena en los fluidos más

fríos. Sin embargo, la velocidad del sonido en el agua depende también de otros factores, como la densidad y la salinidad, que aumentan con la profundidad. Los cálculos son enrevesados, pero el resultado es que el sonido viaja más deprisa en la capa más superficial y la más profunda del océano, y más despacio a unos 900 metros de profundidad. En consecuencia, en el océano las ondas de sonido tienden a desviarse hacia esa profundidad como atraídas por un imán.

Ewing creía que el canal de sonido del océano podía servir para rescatar pilotos perdidos en el mar. En cada vuelo que cruzara el océano, los pilotos podrían llevar consigo una esfera metálica del tamaño de una pelota de pimpón para el caso de caer al mar. Al caer en el océano, la esfera se hundiría, y era lo bastante gruesa como para resistir el colapso hasta una profundidad de 900 metros. Llegado a ese punto, sin embargo, implosionaría produciendo un ruido tan fuerte como el de un petardo. Puede parecer poco, pero el canal de sonido magnifica los sonidos, y unas boyas especializadas (de las que penderían micrófonos a 900 metros bajo las olas) todavía podrían oírlo. Usando varias boyas para triangular la señal, los equipos de rescate podrían determinar las coordenadas donde se hallara el piloto.

Muchos biólogos, por cierto, creen que las ballenas jorobadas aprovechan el canal de sonido para cantar a sus compañeros a miles de kilómetros de distancia.

## 9. Aires alienígenas

**condenar a las almas al infierno:** Hablando de infierno, esta sí que es buena. Según Apocalipsis 21:8, en el infierno hay un lago de azufre fundido (es decir, líquido). Como el azufre solo se mantiene líquido hasta 445 °C, teóricamente el infierno es más frío que Venus.

Pero es aún mejor. La Biblia también dice (Isaías 30:26) que en el cielo de los bienaventurados la Luna brilla tanto como el Sol, y, dependiendo de la traducción que se use, la luz del Sol es «siete veces mayor que la luz de siete días». En otras palabras, el cielo tiene el equivalente de cincuenta soles: una Luna como el Sol más cuarenta y nueve soles como el Sol. Como la temperatura ambiente de un planeta aumenta rápidamente con un aumento de la radiación que emite (es

función de una potencia a la cuarta), la temperatura del cielo según esta interpretación probablemente alcance cerca de 540 °C, así que ¡en el cielo hace más calor que en el infierno!

No puedo llevarme el mérito por esta gema. La explicación completa se puede leer en «When Hell Freezes Over» [«Cuando el infierno se congela»], de Ron DeLorenzo, en *Journal of Chemical Education*, vol. 76 (1999), p. 503.

**descubrir helio en el Sol en 1868:** Imagino que nadie pensaría que acabaría el libro sin una discusión más sobre los gases intestinales. Según internet, Jules Janssen (uno de los astrónomos que descubrió helio en el Sol en 1868) al parecer experimentó con helio con el perro de la familia, al que forzó a respirarlo e incluso le dio al chucho algún que otro enema de helio. (Dejo para el lector, como ejercicio, la determinación de si eso haría que sus pedos fuesen más agudos.) Pero dado que Ramsay no aisló este gas en la Tierra hasta 1895, y aun entonces en minúsculas cantidades, la historia parece apócrifa.

Por cierto que los médicos del programa espacial Apollo dedicaron bastantes esfuerzos a estudiar las flatulencias de los astronautas. En parte lo hicieron por curiosidad, pues no sabían de qué manera podría afectar a la digestión la gravedad cero, pero en parte por miedo, pues no sabían si unas pequeñas bolsas de gas podrían producir desgarros en el abdomen de los astronautas en el ambiente de baja presión del espacio. Parece ser que no hay razón para preocuparse. Las personas que viven en ambientes de bajas presiones, en los que se incluyen las regiones montañosas de la Tierra, se peen con más facilidad (los montañeros hablan a veces de encuentros con las «arañas ladradoras de las montañas Rocosas»), pero sus ventosidades no son tan violentas como para hacerles daño.

**pretenciosas preguntas espirituales:** Una de esas preguntas pretenciosas tiene que ver con las creencias religiosas: ¿puede el descubrimiento de vida inteligente en otros planetas minar la fe de la gente en Dios o en la otra vida? Depende de su credo. De las principales religiones del mundo, el hinduismo y el budismo son las que parecen estar mejor posicionadas teológicamente respecto a los alienígenas, pues ambas defienden activamente la idea de la vida en otros planetas. De modo parecido, el

Corán sugiere que existen seres inteligentes en otros lugares, aunque no está claro que sigan el islam. El judaísmo parece tratar a los alienígenas como algo más o menos irrelevante.

La religión que probablemente sufriría un mayor caos (dejando de lado las sectas filoalienígenas, como el mormonismo) sería el cristianismo. Aunque algunos estudiosos católicos defienden la idea de la inteligencia extraterrestre, la mayoría de las confesiones no lo hacen, sobre todo las ramas evangélica y fundamentalista. De hecho, la idea introduce algunos problemas teológicos bastante espinosos sobre el pecado original y sobre si todos los seres inteligentes del universo merecen la salvación y la ascensión al cielo. Quizá otros seres inteligentes vayan al cielo directamente, pero eso resulta un poco injusto aquí en la Tierra, donde la entrada hay que ganársela.

**unos espectaculares 500 °C:** Algún lector quizá haya notado algo raro en estas cifras. Antes he dicho que la temperatura de Venus es de 460 °C. Si a eso le restamos los 500 °C que Venus consigue por el efecto invernadero, nos quedamos con -40 °C. También he dicho que la temperatura de la Tierra, sin los gases invernadero, sería de unos -18 °C. Pero ¿cómo puede ser eso, si Venus está por término medio unos 42 millones de kilómetros más cerca del Sol? La respuesta es que Venus está cubierta de unas esponjosas nubes blancas de ácido sulfúrico que reflejan la luz del Sol de vuelta al espacio y reducen la temperatura del planeta. La Tierra no tiene nubes de ácido sulfúrico y por tanto se mantendría más caliente. Pero el mensaje principal sigue siendo el mismo: la Tierra consigue docenas de grados más gracias al efecto invernadero, en tanto que Venus consigue cientos.

**una mayor evaporación, y así sucesivamente:** Algunas observaciones: el bucle de realimentación de la evaporación también creará más nubosidad porque habrá más vapor de agua, y las nubes tienden a reflejar la luz del Sol de vuelta al espacio y, por lo tanto, enfrían ligeramente el planeta. Por otro lado, el aire caliente también aumenta la temperatura del océano, y un océano siquiera levemente más cálido puede acelerar la fusión de ciertas formaciones de hielo que contienen metano, que libre en la atmósfera elevaría la temperatura del planeta. Así pues, el efecto neto es

complicado. De hecho, son este tipo de complicaciones y efectos secundarios los que hacen que el clima sea tan difícil de modelar. Un cambio en una variable casi siempre afecta a una docena de cosas más.

**aplicar a la Luna o a Marte algún tipo de maquillaje ambiental:** Uno podría pensar que podemos colonizar Marte o la Luna construyendo una gigantesca cúpula geodésica para vivir en su interior. Pues bien, durante la década de 1990 ocho científicos se encerraron en el interior de una biosfera en Arizona para testar esa idea. No salió bien. Lograron subsistir algunos años, pero durante ese tiempo el oxígeno del interior de la cúpula descendió de las concentraciones normales en la Tierra (21 por ciento) a tan solo 17 por ciento, el punto en el que los humanos comenzamos a tener problemas para respirar. De algún modo, desaparecieron 27 toneladas de oxígeno, probablemente en las fauces de las bacterias del suelo. Los niveles de dióxido de carbono también fluctuaron porque las estructuras de cemento del interior de la cúpula tendían a absorber CO<sub>2</sub>. La lección principal fue que los gases son difíciles de controlar incluso dentro de espacios cerrados. ¡Importar cometas podría ser una solución más fácil!

## Obras citadas

### GENERALES

- Allaby, Michael, *Atmosphere: A Scientific History of Air, Weather, and Climate*, Facts on File, Nueva York, 2009.
- Almqvist, Ebbe, *History of Industrial Gases*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York, 2003.
- Canfield, Donald E., *Oxygen: A Four Billion Year History*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 2014 (hay trad. cast.: *Oxígeno: Una historia de cuatro mil millones de años*, Crítica, Barcelona, 2015).
- Fenster, Julie, *Ether Day*, Harper Perennial, Nueva York, 2002.
- Fisher, David, *Much Ado about (Practically) Nothing: A History of the Noble Gases*, Oxford University Press, Nueva York, 2010.
- Greenberg, Arthur, *From Alchemy to Chemistry in Picture and Story*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2007.
- Hazen, Robert M., *The Story of Earth: The First 4.5 Billion Years, from Stardust to Living Planet*, Viking, Nueva York, 2012.
- Jay, Mike, *The Atmosphere of Heaven*, Yale University Press, New Haven, CT, 2009.

### INTRODUCCIÓN. El último aliento

- Dando-Collins, Stephen, *The Ides: Caesar's Murder and the War for Rome*, John Wiley & Sons, Nueva York, 2010.
- Goldsworthy, Adrian, *Caesar: Life of a Colossus*, Yale University Press, New Haven, CT, 2008 (hay trad. cast.: *César: la biografía definitiva*, La Esfera de los Libros, Madrid, 2008).
- Parenti, Michael, *The Assassination of Julius Caesar*, The New Press, Nueva York, 2003 (hay trad. cast.: *El asesinato de Julio César*, Hiru, Hondarribia, 2005).

### 1. El aire de la Tierra primigenia

- Carson, Rob, *Mount St. Helens*, Sasquatch Books, Seattle, WA, 2000.
- Findley, Rowe, «Mountain with a Death Wish», *National Geographic*, 159, n.º 1 (1981), pp. 3-33.
- Mastrolorenzo, Giuseppe et al., «Lethal Thermal Impact at Periphery of Pyroclastic Surges: Evidences at Pompeii», *PLoS ONE*, 5, n.º 6 (junio de 2010), pp. 1-12, <http://journals.plos.org/plosone/article?>

[id=10.1371/journal.pone.0011127](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011127).

- Rosen, Shirley, *Truman of St. Helens*, Madrona Publishers, Seattle, WA, 1981.
- Stylianidis, Nearchos, Olorunfunmi Adefioye-Giwa y Zane Thornley, «Complete Vaporisation of a Human Body», *Journal of Interdisciplinary Science Topics*, 2, n.º 1 (2013), pp. 1-4.
- , «Human Body Vaporisation», *Journal of Interdisciplinary Science Topics*, 2, n.º 1 (2013), pp. 1-3.
- Zahle, Kevin, Laura Schaefer y Bruce Fegley, «Earth's Earliest Atmospheres», *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2, n.º 10 (octubre de 2010), pp. 1-17.

#### INTERLUDIO. Un lago explota

- Baxter, Peter J., M. Kapila y D. Mfonfu, «Lake Nyos Disaster, Cameroon, 1986», *British Medical Journal*, 298, n.º 5 (1989), pp. 1437-1441.
- Kling, George W., «The 1986 Lake Nyos Gas Disaster in Cameroon, West Africa», *Science*, 236, n.º 4798 (1987), pp. 169-175.
- Krajick, Kevin, «Defusing Africa's Killer Lakes», *Smithsonian*, 34, n.º 6 (2003), pp. 46-50.
- Scarth, Alwyn, *Vulcan's Fury*, Yale University Press, New Haven, CT, 1999.

#### 2. El demonio en el aire

- Bown, Stephen, *A Most Damnable Invention*, Thomas Dunne Books, Nueva York, 2005.
- Craig, Peter, «Mankind in Peace, the Fatherland in War», *New Scientist*, 101, n.º 1395 (1984), pp. 15-17.
- Hager, Thomas, *The Alchemy of Air*, Crown, Nueva York, 2008.

#### INTERLUDIO. Un arma peligrosa

- Almqvist, Ebbe, *History of Industrial Gases*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York, 2003.

#### 3. La maldición y bendición del oxígeno

- Bell, Madison Smartt, *Lavoisier in the Year One*, W. W. Norton, Nueva York, 2010 (hay trad. cast.: *Lavoisier en el año uno de la revolución*, Antoni Bosch Editor, Barcelona, 2013).
- Bygrave, Stephen, «“I Predict a Riot”: Joseph Priestley and Languages of Enlightenment in Birmingham in 1791», *Romanticism*, 18, n.º 1 (2012), pp. 70-88.



Malone, John, *It Doesn't Take a Rocket Scientist*, John Wiley & Sons, Nueva York, 2002.

Poirier, Jean-Pierre y Rebecca Balinski, *Lavoisier: Chemist, Biologist, Economist*, University of Pennsylvania Press, Filadelfia, 1998.

Rose, R. B., «The Priestley Riots of 1791», *Past & Present*, 18, n.º 1 (1960), pp. 68-88.

#### INTERLUDIO. Dickens y el calor

Haight, Gordon, «Dickens and Lewes on Spontaneous Combustion», *Nineteenth-Century Fiction*, 10, n.º 1 (1955), pp. 53-63.

Perkins, George. «Death by Spontaneous Combustion», *Dickensian*, 60, n.º 342 (1964), p. 57.

West, John, «Spontaneous Combustion, Dickens, Lewes, and Lavoisier», *Physiology*, 9, n.º 6 (1994), pp. 276-278.

#### 4. Un hilarante gas que obra prodigios

Fenster, Julie, *Ether Day*, Harper Perennial, Nueva York, 2002.

Holmes, Richard. *The Age of Wonder*, Pantheon, Nueva York, 2009 (hay trad. cast.: *La edad de los prodigios*, Turner, Madrid, 2012).

Jay, Mike, *The Atmosphere of Heaven*, Yale University Press, New Haven, CT, 2009.

#### INTERLUDIO. Le Pétomane

Moore, Alison, «The Spectacular Anus of Joseph Pujol», *French Cultural Studies*, 24, n.º 1 (2013), pp. 27-43.

Nohain, Jean y F. Caradec, *Le Pétomane*, Souvenir Press, Londres, 1992 (hay trad. cast.: *El pedómano: Su vida y su obra*, Alfaguara, Madrid, 1970).

Provine, Robert, *Curious Behavior*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 2012.

Suarez, F. L., J. Springfield y M. D. Levitt, «Identification of Gases Responsible for the Odour of Human Flatus and Evaluation of a Device Purported to Reduce this Odour», *Gut*, 43, n.º 1 (1998), pp. 100-104.

Suarez, F. L., J. K. Furne, J. Springfield y M. D. Levitt, «Morning Breath Odor: Influence of Treatments on Sulfur Gases», *Journal of Dental Research*, 79, n.º 10 (2000), pp. 1773-1777.

#### 5. Caos controlado

Bown, Stephen, *A Most Damnable Invention*, Thomas Dunne Books, Nueva York, 2005.

Marsden, Ben, *Watt's Perfect Engine*, Columbia University Press, Nueva York, 2004.

#### INTERLUDIO. Acerados frente a la tragedia

Bessemer, Henry, *Sir Henry Bessemer, F.R.S.: An Autobiography*, Offices of Engineering, Londres, 1905.

Jeans, William, *The Creators of the Age of Steel*, Chapman and Hall, Londres, 1973.

Lewis, Peter y Ken Reynolds, «Forensic Engineering: A Reappraisal of the Tay Bridge Disaster», *Interdisciplinary Science Reviews*, 27, n.º 4 (2002), pp. 287-298.

#### 6. Hacia el cielo

Fisher, David, *Much Ado about (Practically) Nothing: A History of the Noble Gases*, Oxford University Press, Nueva York, 2010.

Fontani, Marco, Mariagrazia Costa y Mary Virginia Orna, *The Lost Elements*, Oxford University Press, Nueva York, 2014.

Gillispie, Charles Coulston, *The Montgolfier Brothers and the Invention of Aviation*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1983.

Holmes, Richard, *Falling Upwards: How We Took to the Air*, Pantheon, Nueva York, 2013.

Wolfenden, John, «The Noble Gases and the Periodic Table», *Journal of Chemical Education*, 46, n.º 9 (1969), pp. 569-575.

#### INTERLUDIO. Las luces de la noche

Dewdney, Christopher, *Acquainted with the Night*, Bloomsbury USA, Nueva York, 2008.

Ekirch, A. Roger, *At Day's Close: Night in Times Past*, W. W. Norton, Nueva York, 2006.

Tomory, Leslie, *Progressive Enlightenment*, MIT Press, Cambridge, MA, 2012.

#### 7. Las repercusiones de la lluvia radiactiva

Boese, Alex, *Electrified Sheep*, Thomas Dunne Books, Nueva York, 2012.

Mahaffey, James, *Atomic Accidents*, Pegasus, Nueva York, 2015.

National Park Service, «The Archaeology of the Atomic Bomb», capítulos uno, tres y cinco, [http://www.nps.gov/parkhistory/online\\_books/swcrc/37/contents.htm](http://www.nps.gov/parkhistory/online_books/swcrc/37/contents.htm).

Consultado el 4 de noviembre de 2015.

Rhodes, Richard, *The Making of the Atomic Bomb*, Simon & Schuster, Nueva York, 1988.

Simon, Steven, André Bouville y Charles Land, «Fallout from Nuclear Weapons Tests and Cancer Risks», *New Scientist*, 94, n.º 1 (2006), pp. 48-56.

Smith-Norris, Martha. «“Only as Dust in the Face of the Wind”: An Analysis of the BRAVO Nuclear Incident in the Pacific, 1954», *Journal of American–East Asian Relations*, 6, n.º 1 (1997), pp. 1-34.

Welsome, Eileen, *The Plutonium Files*, Dial Press, Nueva York, 1999.

Winkler, Allan, *Life Under a Cloud*, University of Illinois Press, Champaign, 1999.

#### INTERLUDIO. Albert Einstein y la nevera popular

Bryson, Bill, *A Short History of Nearly Everything*, Broadway Books, Nueva York, 2004 (hay trad. cast.: *Una breve historia de casi todo*, RBA, Barcelona, 2004).

Dannen, Gene, «The Einstein-Szilard Refrigerators», *Scientific American*, 276, n.º 1 (1997), pp. 90-95.

Illy, József, *The Practical Einstein*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2013.

Trainer, Matthew, «Albert Einstein’s Patents», *World Patent Information*, 28, n.º 2 (2006), pp. 159-165.

#### 8. Las guerras meteorológicas

Fleming, James R., «The Climate Engineers», *Wilson Quarterly* (primavera de 2007), pp. 46-60.

Gleick, James, *Chaos*, Penguin, Nueva York, 1987 (hay trad. cast.: *Caos, la creación de una ciencia*, Crítica, Barcelona, 2012).

Langmuir, Irving, «Control of Precipitation from Cumulus Clouds by Various Seeding Techniques», *Science*, 112, n.º 2898 (1950), pp. 3541.

Lorenz, Edward, *The Essence of Chaos*, University of Washington Press, Seattle, 1995 (hay trad. cast.: *La esencia del caos*, Debate, Barcelona, 1995).

#### INTERLUDIO. Rumores desde Roswell

McAndrew, James. «The Roswell Report», Air Force Historical Studies Division, 1995, <http://www.afhso.af.mil/shared/media/document/AFD-101027-030.pdf>. Consultado el 4 de noviembre de 2015.

Muller, Richard, *Physics for Future Presidents*, W. W. Norton, Nueva York, 2009 (hay trad. cast.: *Física para futuros presidentes*, Bosch Editor, Barcelona, 2009).

Pretor-Pinney, Gavin, *The Wave Watcher's Companion*, Penguin, Nueva York, 2011.

#### 9. Aires alienígenas

Bennett, Jeffrey, *Beyond UFOs*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 2010.

Kasting, James y David Catling, «Evolution of a Habitable Planet», *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 41, n. °1 (2003), pp. 429-463.

## Notas

1. «Así siempre a los tiranos», frase a veces atribuida a Marco Junio Bruto durante el asesinato de César, aunque en las fuentes antiguas no consta que dijese nada. Así, Plutarco dice: «Una vez muerto César, por más que Bruto se llegó al centro de la sala con la intención de decir algo al respecto de lo sucedido, los senadores no lo toleraron y salieron precipitadamente de allí». (*Vidas paralelas. César*, Gredos, Madrid, 2007, trad. de Jorge Bergua Caverro.) (*N. del T.*)

1. Es decir, Harry S. Truman (1884-1972), 33.º presidente de Estados Unidos.  
(*N. del T.*)

2. William Tecumseh Sherman (1820-1891) fue general del ejército de la Unión en el teatro occidental durante la guerra de secesión americana. En 1864 tomó la ciudad de Atlanta, en el estado de Georgia, de manos del ejército confederado. Era conocido por su dureza y su política de tierra quemada. (*N. del T.*)

3. El *Big One* es el Gran Terremoto que se prevé inminente (en términos geológicos) en la región meridional de la falla de San Andrés, donde los expertos estiman que la tensión acumulada es suficiente para que se produzca un movimiento de tierras de magnitud 7 o más en la escala de Richter. (*N. del T.*)



\* Este y el resto de los asteriscos hacen referencia a la sección de Notas y miscelánea y entra más a fondo en diversas cuestiones interesantes.

1. Old Faithful (viejo fiel) es el nombre de un célebre (y muy regular) géiser de Yellowstone, en el estado americano de Wyoming. (*N. del T.*)

1. Por los primeros versos de *Das Lied der Deutschen* (*La canción de los alemanes*), el poema de August Heinrich Hoffmann von Fallersleben (1798-1874), cuya tercera estrofa constituye hoy la letra del himno nacional de Alemania. Los dos primeros versos dicen: *Deutschland, Deutschland über alles, / Über alles in der Welt* (Alemania, Alemania sobre todo, / sobre todo en el mundo). (*N. del T.*)

1. Los *sans culotte* eran los revolucionarios del pueblo llano, y recibían este nombre por usar pantalones rayados y no los calzones propios de la aristocracia del Antiguo Régimen. (*N. del T.*)

1. George Berkeley (1685-1753), filósofo irlandés conocido por su filosofía del inmaterialismo o idealismo subjetivo, que niega la existencia de lo material (que existe solo como ideas en la mente de quienes lo perciben, y solo si es percibido). (*N.del T.*)

1. Melvin Jerome Blanc (1908-1989), más conocido como Mel Blanc, fue un conocido actor de voz, célebre especialmente por sus trabajos de animación. El Hombre de las Mil Voces lo fue, entre muchas otras, de Bugs Bunny y del Pato Lucas. (*N. del T.*)

1. Los premios Darwin son galardones irónicos que se conceden, por lo general póstumamente, a personas que contribuyen a depurar el acervo génico de la especie humana muriendo o quedando estériles a causa de sus estupideces, como encender un mechero para ver si aún quedan sustancias inflamables en un depósito. Véase la lista completa en <http://www.darwinawards.com> (*N. del T.*)

1. Referencia a la novela de Joseph Heller (traducida al castellano como *Trampa 22*), publicada en 1961. Situada en la segunda guerra mundial, su protagonista finge estar loco para no tener que entrar en combate, pero su deseo de no hacerlo es tomado como prueba de su cordura. En lengua inglesa, *catch-22* ha pasado a referirse a un dilema no resoluble a causa de condiciones mutuamente conflictivas. (*N. del T.*)



2. El poeta estadounidense E. E. Cummings (1894-1962) tendía a usar una ortografía poco convencional en sus escritos, por lo que sus editores a menudo escribían su nombre en minúsculas. (*N. del T.*)

1. Robert Craig «Evel» Knievel Jr. (1938-2007) fue un motociclista de acrobacias estadounidense. (*N. del T.*)

1. Referencia a *Eichmann en Jerusalén: Un estudio sobre la banalidad del mal* (1963, ed. cast. 1967), de la filósofa Hannah Arendt. Adolf Eichmann (1906-1962), teniente coronel de las SS nazis y uno de los principales responsables del Holocausto, fue juzgado y ejecutado en Israel tras ser capturado en Argentina. (*N. del T.*)

2. Nothing Atoll (atolón Nothing) suena en inglés como *nothing at all*, es decir, «nada en absoluto». (*N. del T.*)

3. Juego de palabras, por *pig*, cerdo. (*N. del T.*)

1. Los Papeles del Pentágono son una historia de la implicación de Estados Unidos en la guerra de Vietnam de 1945 a 1967 preparada bajo alto secreto por el Departamento de Defensa, pero filtrada a la prensa en 1971 por uno de los autores del estudio, el analista militar Daniel Ellsberg. *(N. del T.)*

2. Aquí el género femenino está usado de manera literal, pues el trabajo de computadora (o calculadora humana o calculista) se consideraba propio de mujeres; de ahí que los primeros programadores de computadoras electrónicas (para ENIAC, durante la segunda guerra mundial) fuesen seis mujeres. (*N. del T.*)

3. Un almanaque editado por Benjamin Franklin bajo el pseudónimo Poor Richard o Richard Saunders, al estilo de los que en muchos países se han publicado y publican en torno al calendario agrícola y, por tanto, con información supuestamente útil sobre el clima. (*N. del T.*)



1. El principio Goldilocks hace referencia al personaje del cuento «Ricitos de Oro y los tres osos», en el que la protagonista prueba los tazones de sopa de los tres osos y se queda con la que no está ni demasiado fría ni demasiado caliente. (*N. del T.*)

2. Un planeta helado del universo ficticio de *La guerra de las galaxias*. (N. del T.)

1. El *clerihew* es un poema biográfico y caprichoso de cuatro versos en rima gemela (AABB). Recibe su nombre de su inventor, el novelista y humorista inglés Edmund Clerihew Bentley (1875-1956). En el primer ejemplo, *gravy* es una salsa. (*N. del T.*)

2. *El regreso del nativo* es el título de una novela del autor inglés Thomas Hardy (1849-1928). (N. del T.)

*El último aliento de César*

Sam Kean

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

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.

Puede contactar con CEDRO a través de la web [www.conlicencia.com](http://www.conlicencia.com) o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Título original: *Caesar's Last Breath*

© 2017, Sam Kean

© 2018, de la traducción, Joan Lluís Riera

Diseño de la cubierta: © Gregg Kilick

Diseño de la colección: © Print Collector y Grafissimo - Getty Images

© Editorial Planeta, S. A., 2018

Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)

[www.editorial.planeta.es](http://www.editorial.planeta.es)

[www.planetadelibros.com](http://www.planetadelibros.com)

Primera edición en libro electrónico (epub): mayo de 2018

ISBN: 978-84-344-2779-2 (epub)

Conversión a libro electrónico: Newcomlab, S. L. L.

[www.newcomlab.com](http://www.newcomlab.com)



**SAM KEAN**

AUTOR DEL BESTSELLER *LA CUCHARA MENGUANTE*

# EL ÚLTIMO ALIENTO DE CÉSAR

LA ÉPICA HISTORIA  
DEL AIRE QUE NOS RODEA

*Ariel*