

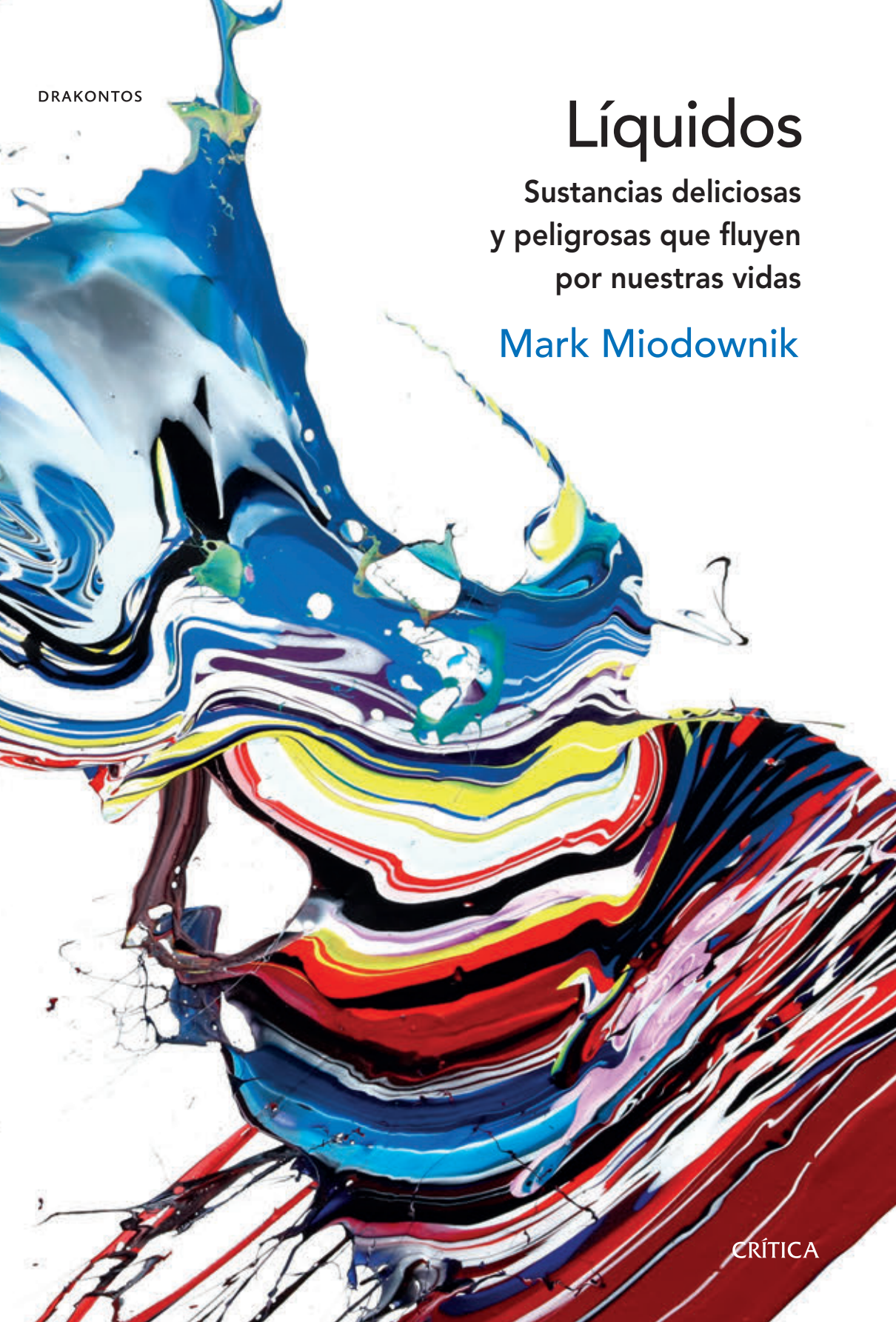
DRAKONTOS

Líquidos

Sustancias deliciosas
y peligrosas que fluyen
por nuestras vidas

Mark Miodownik

CRÍTICA



LÍQUIDOS

Sustancias deliciosas y peligrosas
que fluyen por nuestras vidas

Mark Miodownik

Traducción castellana de
Joan Lluís Riera

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: enero de 2020

Líquidos. Sustancias deliciosas y peligrosas que fluyen por nuestras vidas
Mark Miodownik

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 o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Título original: *Liquid. The Delightful and Dangerous Substances That Flow Through Our Lives*

Original English language edition first published by Penguin Books Ltd, London.

© Mark Miodownik, 2018
The author has asserted his moral rights.
All rights reserved.

© de la traducción, Joan Lluís Riera Rey, 2020

© Editorial Planeta S. A., 2020
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9199-181-6
Depósito legal: B. 26.790 - 2019
2020. Impreso y encuadernado en España por Huertas Industrias Gráficas S. A.

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

Explosivos

En cuando se cierran las puertas del avión y empezamos a alejarnos de la puerta de embarque del aeropuerto de Heathrow, una voz anuncia la demostración de seguridad del vuelo.

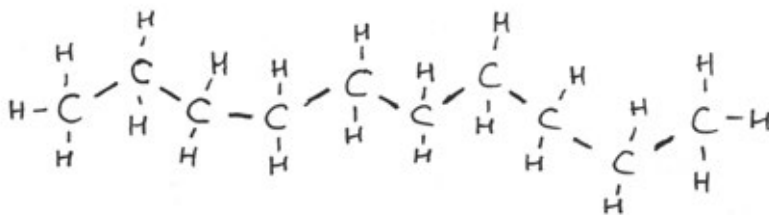
«Buenas tardes, señores pasajeros, la compañía British Airways les da la bienvenida a bordo de este vuelo con destino a San Francisco. Antes del despegue, les rogamos que atiendan a las explicaciones de la tripulación de cabina sobre las medidas de seguridad de este avión.»

Siempre me ha desconcertado esta forma de comenzar un vuelo. Estoy convencido de que se trata de un engaño, de que las instrucciones sobre seguridad no tienen en realidad nada que ver con la seguridad. Para empezar, no dicen nada sobre las decenas de miles de litros de combustible que lleva el avión. Es la ingente cantidad de energía contenida en este líquido lo que nos permite volar, su ardiente naturaleza lo que empuja los motores a reacción para que puedan, en nuestro caso, llevar a 400 pasajeros en un aparato de 250 toneladas desde que está detenido en la entrada de la pista de despegue hasta que alcanza una velocidad de crucero de 800 kilómetros por hora y una altitud de 12.000 metros, todo en cuestión de minutos. El extraordinario poder de este líquido alimenta nuestros sueños más descabellados. Nos permite alzarnos por encima de las nubes y viajar a cualquier lugar del mundo en apenas unas horas. Es la misma sustancia que llevó al primer astronauta, Yuri Gagarin, hasta el espacio en su cohete, y la que impulsa la

última generación de cohetes SpaceX que ponen los satélites en órbita por encima de la atmósfera. Se llama queroseno.

El queroseno es un fluido transparente e incoloro que, curiosamente, tiene el mismo aspecto que el agua. ¿Dónde se esconde, pues, toda esa energía, toda esa potencia oculta? ¿Por qué el hecho de almacenar tanta energía dentro de un líquido no hace que este tenga un aspecto más viscoso y peligroso? ¿Y por qué no se menciona siquiera en las instrucciones de seguridad de los vuelos?

Si pudiéramos mirar el queroseno a escala atómica, veríamos que su estructura es como espaguetis. La fibra central de cada hebra está hecha de átomos de carbono, enlazados uno tras otro. Cada carbono está unido a dos átomos de hidrógeno, salvo en los extremos de la molécula, donde está unido a tres átomos de hidrógeno. A esta escala podemos ver bastante bien la diferencia entre el queroseno y el agua. En esta no hay una estructura en forma de espagueti, sino una caótica mezcla de pequeñas moléculas en forma de V (un átomo de oxígeno unido a dos átomos de hidrógeno, H_2O). No, a esta escala, el queroseno se parece más al aceite de oliva, que también está hecho de moléculas de carbono enmarañadas. Sin embargo, mientras que en el queroseno las hebras se parecen más al espagueti, en el aceite de oliva están ramificadas y retorcidas.



Estructura de una molécula de hidrocarburo del queroseno.

Como las moléculas del aceite de oliva tienen una forma más compleja que las del queroseno, les cuesta más desplazarse unas junto a otras, de manera que el líquido no fluye tan fácilmente; dicho de otro modo, el aceite de oliva es más viscoso que el queroseno. Ambos

son aceites, y a nivel atómico se parecen bastante, pero, a causa de sus diferencias estructurales, el aceite de oliva es más espeso, mientras que el queroseno fluye casi como el agua. Esta diferencia no determina únicamente la viscosidad de los dos aceites, sino también su inflamabilidad.

El médico y alquimista persa Al-Razi relató su descubrimiento del queroseno en su *Libro de los secretos*, escrito en el siglo IX. Al-Razi se interesó por unos manantiales naturales de su región de los que no emergía agua, sino un líquido espeso, negro y sulfuroso. Por aquel entonces, este material alquitranado ya se extraía para extenderlo por los caminos, básicamente como una forma antigua de asfalto. Al-Razi desarrolló unos procedimientos químicos especiales, que hoy conocemos como destilación, para analizar aquel oscuro aceite. Lo calentaba, recogía los gases que expelía y, a continuación, los enfriaba, transformándolos de nuevo en líquidos. Los primeros que extrajo de este modo eran amarillentos y aceitosos, pero, tras repetidas destilaciones, obtuvo una sustancia clara, transparente, que fluía fácilmente. Había descubierto el queroseno.

Por aquel entonces no podía imaginar lo mucho que ese líquido acabaría aportando al mundo, pero sí se percató de que se trataba de un líquido inflamable que quemaba sin humo. Aunque eso hoy nos pueda parecer un descubrimiento trivial, la iluminación de interiores fue un enorme problema para todas las civilizaciones antiguas. En esos tiempos, las lámparas de aceite eran la tecnología más sofisticada para la producción de luz, pero quemar aceite producía tanto hollín como luz. Las lámparas sin humo se convertirían en una innovación revolucionaria, hasta tal punto que serían inmortalizadas en la historia de Aladino, en *El libro de las mil y una noches*. En esta historia, Aladino encuentra una lámpara de aceite, una linterna mágica que al frotarla libera a un poderoso genio. Los genios aparecen con frecuencia en los mitos de aquella época, donde se nos muestran como criaturas sobrenaturales hechas de fuego sin humo; este genio en particular estaba obligado a satisfacer los deseos del dueño de la lámpara, lo que dotaba a este de un inmenso poder. La importancia del nuevo líquido y su capacidad de crear una llama sin humo es algo que Al-Razi sin duda no pasó por alto. Entonces, ¿por qué los persas no empezaron a

usar esta nueva sustancia? La respuesta tiene que ver, en parte, con la importancia de los olivos para su economía y su cultura.

En el siglo IX, el aceite de oliva era el combustible preferido para las lámparas de aceite en Persia. Los olivos abundaban en la región, pues toleraban bien la sequía y producían aceitunas que se podían prensar para obtener aceite. Hacían falta unas veinte aceitunas para obtener una cucharilla de aceite, que proporcionaba una hora de luz en una lámpara de aceite normal. Por consiguiente, si una casa corriente necesitaba cinco horas de luz por noche, precisaba 100 aceitunas al día, o aproximadamente 36.000 aceitunas al año, solo para alimentar una lámpara. Si querían producir aceite suficiente para dar luz a todo su imperio, los persas necesitaban una gran extensión de tierra y mucho tiempo, puesto que los olivos suelen tardar unos veinte años en dar aceitunas. Los persas también necesitaban proteger sus tierras de cualquiera que quisiera robarles este preciado recurso, lo que significaba que necesitaban ciudades organizadas, y eso, a su vez, implicaba una mayor necesidad de aceitunas para que todos tuvieran aceite para cocinar y alumbrarse. Para sostener un ejército había que pagar impuestos, y en Persia eso a menudo significaba dar al gobierno una parte de la producción de aceitunas. Así pues, el aceite de oliva ocupó un lugar central en la sociedad y la cultura persas, y lo mismo puede decirse de todas las civilizaciones de Oriente Medio, hasta que encontraron una fuente alternativa de energía y de ingresos fiscales. Los experimentos de Al-Razi demostraron que esa fuente estaba bajo sus propios pies, pero aún hubo que esperar unos mil años más.

Entretanto, las lámparas de aceite no dejaron de evolucionar. El diseño de una de estas lámparas del siglo IX puede parecer simple, pero es notablemente sofisticado. Pensemos en un cuenco con aceite de oliva. Si intentamos encenderlo, descubriremos que es bastante difícil. Lo es porque el aceite de oliva tiene un punto de destello bastante alto. El punto de destello de un líquido inflamable es la temperatura a la que reacciona espontáneamente con el oxígeno del aire y se enciende en llamas; para el aceite de oliva, es de 315°C. Por eso el aceite de oliva es tan seguro. Si lo derramamos sobre la cocina, no estalla en llamas. Además, para freír la mayoría de los alimentos se necesita una temperatura de unos 200°C, lo cual es unos cien grados por deba-

jo del punto de destello del aceite de oliva, de modo que es fácil cocinar sin quemar el aceite.

Sin embargo, a 315 °C un recipiente con aceite estallará en llamas, y al hacerlo producirá una gran cantidad de luz. Eso no solo es muy peligroso, sino que además las llamas apenas durarán, pues consumirán todo el combustible en un momento. Probablemente, estarán pensando que debe de haber una manera mejor de quemar el aceite de oliva para producir luz. Y así es. Si cogemos un trozo de cuerda y lo sumergimos en aceite dejando que sobresalga una punta, y entonces la prendemos, se producirá una llama luminosa en la mecha sin necesidad de calentar todo el cuenco de aceite. No es la mecha lo que produce la luz, sino el aceite que se quema. Eso es ingenioso, pero no acaba aquí. Si dejamos la llama encendida, no baja hasta el aceite, sino que es el aceite el que sube por la mecha y solo se quema cuando llega a la punta. Este sistema puede mantener viva una llama durante horas; de hecho, mientras quede aceite en el cuenco. El proceso que hay detrás, la capilaridad, parece un milagro: el aceite consigue desafiar a la gravedad y moverse de manera autónoma; sin embargo, es un principio básico de los líquidos derivado de lo que se conoce como «tensión superficial».



Réplica de una antigua lámpara de aceite de la época de Al-Razi.

Lo que confiere a los líquidos su capacidad de fluir es su estructura, el hecho de que pertenecen a un estado intermedio entre el caos de los gases y la presión estática (para las moléculas) de los sólidos. En los gases, las moléculas poseen la suficiente energía calorífica como para separarse las unas de las otras y moverse de forma autónoma. Esto hace que los gases sean dinámicos, que se expandan hasta llenar el espacio disponible, pero prácticamente carecen de estructura. En los sólidos, la fuerza de la atracción entre los átomos y las moléculas es mucho mayor que la energía calorífica que poseen, por lo que se unen unos a otros. De este modo, los sólidos poseen mucha estructura, pero poca autonomía: cuando cogemos un cuenco, todos los átomos de ese cuenco van juntos como un único objeto. Los líquidos son un estado intermedio entre los dos. Sus átomos tienen la energía calorífica suficiente para romper algunos de los enlaces que los unen a sus vecinos, pero no para romperlos todos y convertirse en un gas. Así que quedan todos juntos en la sustancia, pero pueden moverse dentro de esta. Eso es un líquido, una forma de la materia en la que las moléculas nadan de un lado a otro, haciendo y deshaciendo conexiones con otras moléculas.

Las moléculas de la superficie de un líquido experimentan un entorno distinto que las del interior del líquido. No están completamente rodeadas de otras moléculas, por lo que, en promedio, experimentan menos fuerzas de unión que las que se encuentran en medio del líquido. Este desequilibrio de fuerzas entre la superficie y el interior del líquido crea una fuerza de tensión que denominamos «tensión superficial». Es una fuerza minúscula, pero lo bastante grande como para oponerse a la fuerza de la gravedad en las cosas pequeñas, y eso explica que algunos insectos puedan caminar sobre la superficie de los estanques.

Si miramos con atención un zapatero, esos insectos que pueden «caminar» sobre el agua, veremos que sus patas son repelidas por la superficie del estanque gracias a que la tensión superficial entre el agua y las patas del insecto genera una fuerza de repulsión que actúa en contra de la gravedad. Algunas interacciones líquido-sólido hacen lo contrario y crean una fuerza molecular de atracción. Así ocurre entre el agua y el vidrio. Basta con fijarse en cómo en un vaso de agua



Zapatero caminando por el agua.

el borde del líquido se desvía hacia arriba allí donde el agua toca con el cristal. Es lo que conocemos como «menisco», y también es un efecto de la tensión superficial.

Las plantas también dominan este truco, que usan para subir el agua en contra de la fuerza de la gravedad desde el suelo hasta todas sus hojas, algo que consiguen mediante un sistema de tubos diminutos que se extiende por raíces, tallos y hojas. A medida que los tubos se tornan microscópicos, aumenta el cociente entre el área interior del tubo y el volumen del líquido que aloja, y con ello la magnitud del efecto. Por eso los fabricantes venden trapos de «microfibras» para limpiar las ventanas: porque tienen microcanales, parecidos a los de las plantas, que absorben el agua, y así el paño limpia de forma más eficiente. El papel de cocina absorbe los líquidos derramados gracias al mismo mecanismo. Todos estos son ejemplos de capilaridad, el mismo efecto de tensión superficial que permite que el aceite ascienda por una mecha.

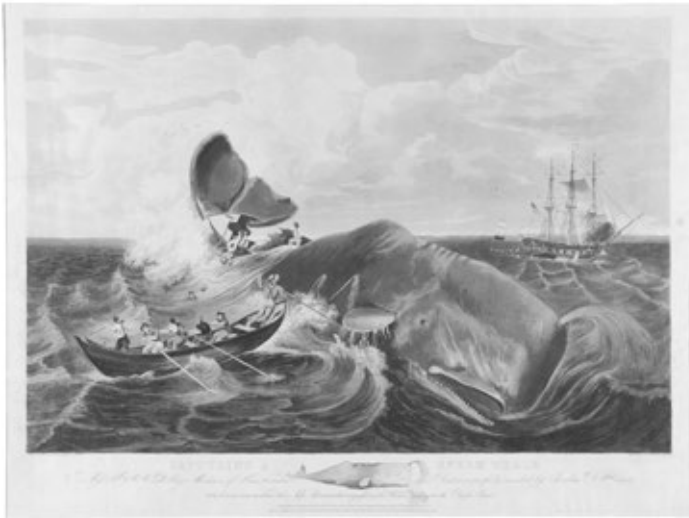
Sin este efecto, las velas no funcionarían. Cuando prendemos la mecha de una vela, el calor funde la cera, que se acumula en estado líquido alrededor del pábilo. Esta cera líquida asciende por la mecha a través de microcanales hasta llegar a la llama, a la que alimenta con un

nuevo suministro de combustible para quemar. Si se escoge el material adecuado para la mecha, la llama quemará con el calor suficiente para mantener el depósito de cera líquida y garantizar así un flujo constante de combustible. Este sistema engañosamente simple se autorregula, y requiere tan poca atención de nuestra parte que ya no nos parece que la vela sea un artilugio tecnológico, pero eso es exactamente lo que es.

Durante miles de años y en todo el mundo, la capilaridad de las mechas proporcionó el mecanismo principal para el alumbrado interior, ya fuera con velas o con lámparas de aceite. Sin estas dos tecnologías, por la noche el mundo se sumía en la oscuridad. Como cabe suponer, las lámparas de aceite eran populares en los lugares donde abundaba el aceite, mientras que las velas se utilizaban allí donde era más fácil obtener cera o grasa animal. No obstante, por ingeniosas que fueran, las velas y las lámparas de aceite tenían sus pegas: además del obvio riesgo de incendio, había que tener en cuenta la producción de hollín, el escaso brillo de la llama, el mal olor y el coste. Estos inconvenientes hacían que siempre se estuviera buscando una forma más barata y segura de alumbrar el interior de las casas. El descubrimiento del queroseno por Al-Razi en el siglo IX habría sido la solución, si alguien hubiera caído en la cuenta.

Dentro del avión, los auxiliares de vuelo han comenzado su demostración de seguridad, y también obvian la importancia del queroseno. Ni siquiera lo han mencionado, pese a que, en este mismo momento, se está inyectando esta sustancia revolucionaria en los motores a reacción situados bajo las alas para que impulsen el aparato en dirección a la pista de despegue. En su lugar, hablan de qué hacer si se produce una «pérdida de presión en la cabina». Como británico que soy, me doy perfecta cuenta de lo comedida que es esta frase. Parece que no sea nada del otro mundo, pero lo que significa es que, mientras el avión se desplaza a gran altitud, si por alguna razón en la cabina se abriese un agujero o una grieta, todo el aire se escaparía a presión fuera del avión, y con él se escaparía también cualquiera que no estuviese atado a su asiento. No quedaría oxígeno suficiente para respirar, y por eso caerían del techo las máscaras de oxígeno. El avión iniciaría de inmediato un descenso rápido a una altitud menor, donde hay más oxígeno y donde cualquiera de los pasajeros que todavía continuase vivo estaría a salvo.

La falta de oxígeno también era un problema para las antiguas lámparas de aceite. Su diseño no permitía que llegase al combustible el oxígeno suficiente para quemarse del todo, y por eso la llama producía una luz relativamente poco intensa. Esto fue un problema hasta el siglo XVIII, cuando un científico suizo llamado Ami Argand inventó un nuevo tipo de lámpara de aceite que usaba una mecha en forma de manga protegida por una cubierta transparente de vidrio. El diseño permitía que el oxígeno entrara por en medio de la llama, lo cual mejoraba de manera radical la cantidad de oxígeno suministrado y, con ello, la eficiencia y luminosidad de las lámparas de aceite, que las hacía equivalentes a seis o siete velas. Esta innovación condujo a muchas otras, y finalmente se comprendió que el aceite de oliva y otros aceites vegetales no eran los combustibles ideales. Para conseguir una luz más brillante se necesitan temperaturas más altas, y para eso se requiere una mayor fuerza capilar, y la velocidad de la capilaridad depende de la tensión superficial y de la viscosidad del líquido. Los intentos por encontrar aceites que fuesen baratos y tuviesen baja viscosidad promovieron nuevas investigaciones, y, por desgracia, provocaron la muerte de un número ingente de ballenas.



La caza del cachalote, de John William Hill (1835).

El aceite de ballena se obtiene calentando trozos de grasa de este animal. El aceite que desprende la grasa es de color miel claro. No es bueno para cocinar o comer a causa de su fuerte sabor a pescado, pero, como tiene una temperatura de destello de 230°C y una baja viscosidad, resulta ideal para las lámparas de aceite.

El uso de aceite de ballena en las lámparas de Argand se disparó a finales del siglo XVIII, sobre todo en Europa y en América del Norte. Entre 1770 y 1775, los balleneros de Massachusetts produjeron 45.000 barriles de aceite de ballena al año para satisfacer la demanda. La caza de ballenas, alimentada por la necesidad de alumbrado interior, se convirtió en una gran industria, y algunas especies estuvieron a punto de extinguirse a causa de esta demanda. Se estima que en el siglo XIX se mató a más de un cuarto de millón de ballenas para obtener su aceite.

Aquello no podía continuar así, pero la demanda de alumbrado interior no hacía más que crecer. A medida que las poblaciones aumentaban y se enriquecían, la educación adquirió mayor importancia y se extendieron la lectura y el entretenimiento nocturnos, de modo que la demanda de aceites se incrementó todavía más, y con ella la presión sobre los inventores y científicos para hallar nuevas formas de satisfacerla. Entre ellos se encontraba James Young, un químico escocés que, en 1848, descubrió el modo de extraer del carbón un líquido con excelentes propiedades para quemar en una lámpara de aceite. Young lo llamó «aceite de parafina». Un inventor canadiense, Abraham Gesner, hizo lo mismo, aunque llamó a su producto queroseno. Estos descubrimientos podrían haberse quedado en nada, pero ocurrió que se produjeron a las puertas de la guerra de Secesión de Estados Unidos. Entonces los barcos balleneros se convirtieron en objetivos militares, y los impuestos asociados a otros aceites de lámpara crearon una oportunidad para que se estableciera la nueva industria del queroseno. Sin embargo, esta no acabó de despegar hasta que los inventores empezaron a experimentar no con el carbón, sino con el líquido negro que se encontraba junto a las minas de carbón. Este petróleo crudo, que tenía que bombearse del subsuelo, era una sustancia negra, pegajosa y maloliente. Antes de usarlo, hubo que dominar el proceso de la destilación, un viejo truco que ya había utilizado por primera vez Al-Razi, y

que resultó ser extraordinariamente lucrativo. Ahora sí que el genio había salido de la lámpara.

Entretanto, a bordo de mi avión sigue sin mencionarse el queroseno. La demostración se centra ahora en las puertas de seguridad, y la auxiliar de vuelo que tengo más cerca extiende sus brazos e indica con los dedos dónde se encuentran. Hay dos salidas detrás de mí y, según nos informa, dos más en la parte delantera del avión y dos sobre las alas. Me entran ganas de añadir: «y hay 50.000 litros de queroseno en el depósito de combustible situado bajo nuestros pies, y 50.000 más en cada una de las dos alas del avión». Debo de haber murmurado algo por el estilo, porque he atraído la atención de mi compañera de asiento, quien, según sabré más tarde, se llama Susan. Por primera vez desde que ha entrado en el avión, Susan levanta los ojos de su libro. Cruza brevemente su mirada con la mía, por encima de sus gafas de montura color rojo, y regresa a su lectura. Su mirada, que no ha durado más de un segundo, es elocuente. Me dice: «Relájate. Volar es la forma más segura de transporte a larga distancia. ¿Sabías que cada día vuelan por la estratosfera más de un millón de seres humanos? La probabilidad de que ocurra algo malo es minúscula. No, menos que

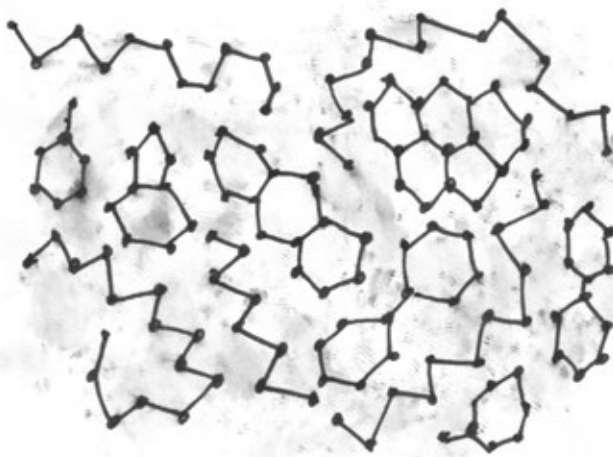


Refinería de petróleo. Las columnas altas son torres de destilación.

minúscula. Reclínate y relájate. Lee un libro». Ya sé que es mucha información para que pueda transmitirla una simple mirada, pero de verdad que la suya decía todo eso.

Para bien o para mal, solo puedo pensar en el queroseno y en el interesante truco que utilizaron aquellos inventores de mediados del siglo XIX para transformar el petróleo crudo: la destilación. Para destilar el petróleo, Al-Razi había usado un artilugio llamado alambique, que es lo que, en tiempos modernos, conocemos como torres de destilación, las que se alzan en las refinerías de petróleo.

El petróleo crudo es una mezcla de moléculas de hidrocarburos de distintas formas, algunas largas como espaguetis, otras más pequeñas y compactas, otras en forma de anillos unidos entre sí. La hebra central de cada molécula está formada por átomos de carbono unidos en línea. Cada átomo de carbono lleva enlazados dos átomos de hidrógeno, pero las moléculas varían enormemente en forma y tamaño, desde apenas cinco átomos de carbono a cientos de ellos. Hay muy pocas moléculas de hidrocarburo de menos de cinco átomos de carbono, porque esas moléculas tan pequeñas tienden a manifestarse en forma de gas: son el metano, el etano y el butano. Cuanto más larga es la



Mezcla de moléculas de hidrocarburo en el petróleo crudo
(solo se muestran los átomos de carbono).

molécula, más alto es su punto de ebullición, por lo que es más probable que se encuentre en estado líquido a temperatura ambiente. Esto es así en el caso de las moléculas de hidrocarburo de hasta cuarenta átomos de carbono. Por encima de este número, las moléculas apenas pueden fluir y forman el alquitrán.

Cuando se destila el crudo, primero se extraen las moléculas más pequeñas. Las moléculas de hidrocarburo de 5-8 átomos de carbono forman un líquido transparente que es extremadamente inflamable; tiene un punto de destello (o de inflamabilidad) de -45°C , lo que significa que puede inflamarse fácilmente incluso a temperaturas bajo cero. Tan fácilmente, de hecho, que poner este líquido en una lámpara de aceite sería peligroso; de ahí que, en los primeros tiempos de la industria del petróleo, se descartara como un producto de desecho. Más tarde, cuando empezamos a entender mejor las virtudes de este líquido, pasamos a valorarlo más, sobre todo por el modo en que se inflamaba cuando se mezclaba con oxígeno, produciendo suficiente gas caliente como para empujar un pistón. Posteriormente lo conoceríamos como «gasolina», y empezaríamos a utilizarlo como combustible para motores.

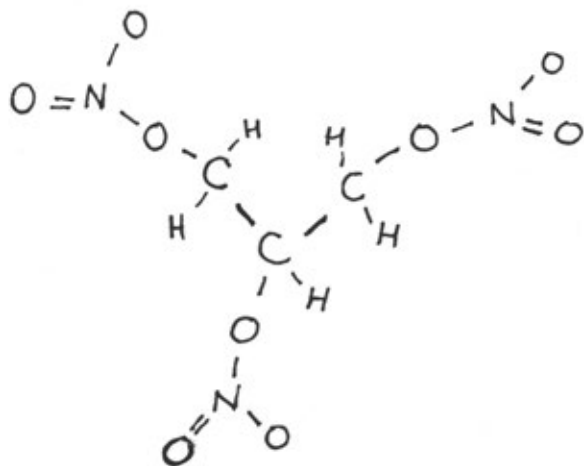
Las moléculas de hidrocarburo algo más grandes, de 9-21 átomos de carbono, forman un líquido claro y transparente con un punto de ebullición un poco más alto que el de la gasolina. Como se evapora a un ritmo menor, no se inflama tan fácilmente. Pero como cada molécula individual es bastante grande, cuando reacciona con oxígeno desprende una gran cantidad de energía en forma de un gas caliente. Sin embargo, no se enciende a no ser que se atomice en el aire, y puede comprimirse a una gran densidad antes de estallar en llamas. Este es el principio que en 1897 descubrió Rudolf Diesel, quien dio nombre al líquido que estaba en la base de su gran invento: el motor de mayor éxito del siglo xx.

En los primeros tiempos de la industria del petróleo, a mediados del siglo xix, los motores diésel aún no se habían inventado, y había una gran necesidad de encontrar una sustancia inflamable para las lámparas de aceite. Mientras buscaban ese aceite, los productores crearon un líquido que contenía moléculas de carbono de 6-16 átomos. Este líquido se encuentra a medio camino entre la gasolina y el gasóleo.

Posee las virtudes del diésel (no se evapora tan rápido como para formar mezclas explosivas), pero es un fluido con una viscosidad muy baja, parecida a la del agua. Gracias a ello, sube fácilmente por capilaridad a lo largo de la mecha, lo que permite que la llama sea muy brillante. Era barato y eficaz, y no dependía de olivos ni ballenas. Se trataba del queroseno, el combustible ideal para las lámparas de aceite.

En todo caso, ¿es seguro? He dejado que mi mente divague (en un intento por relajarme, siguiendo las tácitas instrucciones de Susan), pero ahora mi atención se dirige de nuevo a los auxiliares de vuelo. Les toca hablar de los chalecos salvavidas, así que se los han puesto y simulan que soplan un pito. Intento imaginar lo que se siente al sobrevivir a un accidente de aviación en el mar y flotar en el agua, tal vez por la noche, intentando soplar el pito. También me pregunto qué pasaría con todo el queroseno de los tanques de combustible en un accidente aéreo de ese tipo. ¿Explotarían?

Sé de un líquido que sin duda lo haría: la nitroglicerina. Como el queroseno, la nitroglicerina es un líquido aceitoso, incoloro y transparente. Fue sintetizado por primera vez en 1847 por el químico italiano Ascanio Sobrero. No lo mató de milagro, pues se trata de una



Estructura molecular de la nitroglicerina.

sustancia química sumamente peligrosa e inestable que puede explotar en cualquier momento. Ascanio quedó tan atemorizado ante los posibles usos de su descubrimiento que lo mantuvo en secreto durante todo un año, y aun entonces intentó disuadir a otros de que lo produjeran. Sin embargo, su estudiante Alfred Nobel reconoció el potencial de ese líquido y, convencido de que podía sustituir a la pólvora, finalmente consiguió producirlo en una forma que se podía manejar con relativa seguridad. Alfred transformó el líquido en un sólido que no explotaba accidentalmente (aunque mató a su hermano Emil), creando así la dinamita. Este producto transformó la industria de la minería y le reportó una fortuna. Antes de la dinamita, las compañías mineras dependían del trabajo manual para perforar los túneles, pozos y cavernas. Alfred utilizó su fortuna (o, al menos, una parte de ella) para crear el premio internacional más famoso del mundo, el premio Nobel.

La nitroglicerina, como la gasolina, el gasóleo y el queroseno, está hecha de carbono e hidrógeno, pero viene con algunos añadidos: átomos de oxígeno y nitrógeno. La presencia de estos átomos, así como sus posiciones dentro de la molécula, hace que la nitroglicerina sea inestable. Si la molécula se ve sometida a presión por contacto o vibración, se descompone fácilmente. Cuando eso ocurre, los átomos de nitrógeno se reúnen formando un gas, mientras que los átomos de oxígeno de la molécula reaccionan con el carbono para formar dióxido de carbono, otro gas. También reaccionan con el hidrógeno formando vapor de agua, y todo lo que pueda quedar sigue produciendo más gas de oxígeno. A medida que la molécula se descompone, crea una onda de choque en la nitroglicerina que hace que las moléculas vecinas se descompongan también, creando más gas y reforzando la onda de choque. Al final, todas las moléculas de nitroglicerina se descomponen en una reacción en cadena que se produce a una velocidad treinta veces superior a la del sonido y que, de forma casi instantánea, transforma el líquido en un gas caliente. Este gas ocupa un volumen mil veces superior al volumen del líquido, de modo que se expande a gran velocidad, provocando una enorme y ardiente explosión. Buena parte de la devastación de la segunda guerra mundial se debió al uso generalizado de explosivos basados en la nitroglicerina.

El límite de 100 ml para los líquidos que se pueden llevar en un avión está pensado para impedir que alguien suba a bordo explosivos líquidos, como la nitroglicerina, en cantidad suficiente para destruir el aparato. Naturalmente, esta cantidad limitada de nitroglicerina también podría explotar, pero no con la energía necesaria para hacer caer el avión. Con todo, resulta instructivo tener en cuenta que el queroseno contiene diez veces más energía por litro que la nitroglicerina, y que en los depósitos del avión caben decenas de miles de litros de combustible.

El queroseno, sin embargo, no es un explosivo, no explota de manera espontánea. A diferencia de la nitroglicerina, no contiene ningún átomo de oxígeno o nitrógeno en su estructura molecular. Es una molécula estable que no se descompone fácilmente. Uno puede sacudirlo, comprimirlo y hasta bañarse en él, y no explota. A diferencia de su pariente menos potente —la nitroglicerina—, para domeñar la potencia del queroseno hay que trabajárselo: hay que hacer que reaccione con oxígeno. A medida que el queroseno y el oxígeno reaccionan, producen dióxido de carbono y vapor de agua, pero como la reacción está limitada por la disponibilidad de oxígeno, la combustión puede controlarse.

Es la enorme potencia del queroseno y nuestra capacidad para quemarlo de forma controlada lo que lo convierten en un líquido tan importante para la tecnología. La civilización global quema actualmente unos mil millones de litros de queroseno al día, la mayor parte en motores a reacción y cohetes espaciales, aunque todavía se usa para el alumbrado y la calefacción en muchos países. En la India, por ejemplo, más de 300 millones de personas usan lámparas de queroseno para alumbrar sus casas.

Aun así, por mucho que nos guste pensar que tenemos el queroseno bajo control, no deja de tener su lado siniestro. Los horrores del 11 de septiembre de 2001 son un buen ejemplo. Aquel día yo estaba en casa, mirando incrédulo la televisión. A decir verdad, no logro recordar si vi en directo cómo el segundo avión se estrellaba contra una de las torres gemelas o si lo que vi fue un resumen de las noticias; en cualquier caso, me dejó atónito. Me quedé perplejo mirando la tele, intentando comprender la escena. Los dos edificios ardían envueltos

en llamas, y las noticias hablaban de otros aviones dirigidos a otros objetivos. Parecía que no podría ocurrir nada peor, y entonces ocurrió: la primera torre se colapsó en una suerte de desplome a cámara lenta, algo que solo pasa con los objetos gigantes. Luego cayó la segunda torre. Esta vez ya estábamos preparados, pero no por eso nos dejó menos estupefactos.

Fue el combustible que llevaban los aviones lo que hizo que las torres se colapsaran. No fue una explosión, porque el queroseno es estable. Según el informe del FBI, el queroseno reaccionó con el oxígeno del viento que se colaba por los pisos dañados de los edificios, haciendo que la temperatura aumentase en esos pisos hasta más de 800°C. Eso no bastó para fundir el armazón de acero del edificio, pues el acero se funde a temperaturas superiores a 1.500°C; sin embargo, a 800°C la resistencia del acero se reduce a la mitad de la original, así que comenzó a ceder. En cuando cedieron las columnas de uno de los pisos, el peso de todo el edificio por encima de aquel piso cayó sobre el inferior, haciendo que también este cediera, y así sucesivamente, como en un castillo de naipes. En total, el desplome de las torres gemelas causó la muerte de 2.700 personas, entre ellas 343 bomberos de Nueva York. Estos ataques terroristas constituyeron un momento crucial en la historia mundial, no solo porque condujeron a guerras, con todos los horrores que estas conllevan, sino porque el colapso de las torres fue un poderoso símbolo de la fragilidad de la civilización democrática. Y el ingrediente activo de ese momento de destrucción fue el queroseno de los aviones.

Se entenderá, entonces, que piense que podrían mencionarlo en la demostración de seguridad. Pero la nuestra ya ha acabado, y no han dicho ni una palabra de los 150.000 litros de queroseno que llevamos a bordo, ni tampoco nos han hablado de su naturaleza dual: no nos han contado que, por un lado, es un aceite transparente de lo más corriente, tan estable que podríamos tirar una cerilla encendida en el depósito de combustible y no se incendiaría, pero que, por otro, si se mezcla con la cantidad adecuada de oxígeno se convierte en un aceite que, como explosivo, es diez veces más potente que la nitroglicerina. Mi vecina de asiento, Susan, no parece darle la menor importancia a todo esto; sigue absorbida en la lectura de su libro.

Aunque el queroseno no se menciona de manera explícita en la demostración de seguridad del vuelo, se me ocurre que de algún modo está en ella, escondido. Si lo pensamos bien, la demostración de seguridad es uno de los rituales globales que todos compartimos, con independencia de nuestra etnia, nacionalidad, sexo o religión; todos participamos en ella antes de que se prenda el queroseno y el avión despegue. Los peligros de los que nos advierten, como el amerizaje, son tan poco frecuentes que incluso una persona que viajase en avión todos los días durante toda su vida es poco probable que llegase a experimentarlos. Así pues, el objetivo de las recomendaciones debe de ser otro. Como en todos los rituales, el lenguaje está codificado e incluye una serie especial de acciones y el uso de atrezzo. En los rituales religiosos, esos atrezos incluyen velas, incensarios y cálices; en la demostración de seguridad del vuelo son máscaras de oxígeno, chalecos salvavidas y cinturones de seguridad. El mensaje de este ritual previo al despegue es este: estamos a punto de hacer algo extremadamente peligroso, pero los ingenieros han conseguido que sea casi del todo seguro. El «casi» queda resaltado en todas las elaboradas acciones en las que se utiliza el atrezzo que acabamos de mencionar. El ritual dibuja una línea entre la vida normal, en la que cada uno está a cargo de su propia seguridad, y la del momento presente, en la que cedemos el control a una serie de personas y a sus sistemas de ingeniería que toman las riendas de uno de los líquidos más extraordinariamente poderosos del planeta, para lanzarnos a través de la atmósfera hasta el destino que hayamos elegido. En otras palabras, tenemos que fiarnos completamente de ellos, nuestra vida está en sus manos. Este ritual que se celebra antes de cada vuelo es, en realidad, una ceremonia de confianza.

En cuanto veo que la tripulación de cabina comienza a moverse por los pasillos comprobando que los pasajeros se hayan abrochado el cinturón de seguridad y hayan guardado todas sus bolsas, sé que el ritual de seguridad está llegando a su fin, que nos están dando la bendición. Con toda solemnidad, hago un gesto de asentimiento. El avión ha llegado a la pista e inicia las maniobras de despegue: el conocimiento acumulado durante más de mil años se pone en práctica para convertir el queroseno líquido en un vuelo.

Cualquiera que haya inflado un globo y lo haya soltado, dejando que haga piruetas por la habitación, tiene una idea bastante aproximada de cómo funciona un motor a reacción. El aire comprimido sale disparado en una dirección, y el globo es propulsado en el sentido contrario: es la tercera ley del movimiento de Newton, que dice que, para toda acción, hay una reacción igual y contraria. Pero almacenar el suficiente aire comprimido para impulsar un avión sería muy ineficiente. Por suerte, el ingeniero británico Frank Whittle averiguó cómo resolver el problema. Pensó que, como el cielo ya está lleno de gas, un avión no tiene necesidad de llevarlo, sino que basta con comprimir el del aire a medida que se vuela y lanzarlo disparado hacia atrás. Tan solo se necesita una máquina para comprimir el aire. Este compresor es lo que vemos bajo las alas cuando embarcamos en un avión. Tiene el aspecto de un ventilador gigantesco, y lo es, pero lo que no podemos ver es que en el interior hay diez o más ventiladores, cada uno de ellos menor que el anterior. Su cometido es absorber el aire y comprimirlo. A partir de ahí, el aire comprimido pasa por la cámara de combustión, en la parte media del motor, donde se mezcla con queroseno y se prende, produciendo un chorro de gas caliente que sale disparado por la parte trasera del motor. Lo más genial del diseño es que, de camino a la salida del motor, una parte de la energía de ese aire se utiliza para hacer rotar una serie de turbinas, y son esas turbinas las que hacen rotar los compresores situados en la parte delantera del motor. Dicho de otro modo, el motor recoge energía del gas caliente que utiliza para recoger y comprimir más aire a medida que vuela por el cielo.

El aire que sale disparado por la parte trasera del motor permite que nuestro avión, que pesa unas 250 toneladas, gane velocidad. Siempre resulta difícil darse buena cuenta de la velocidad que alcanza el avión solo mirando por la ventana mientras acelera. Las alas hacen su extraño vaivén con cada irregularidad de la pista, sin dejar entrever la ingenieril elegancia que demostrarán una vez en el aire. A 130 kilómetros por hora, la intensidad del traqueteo y los crujidos del interior de la cabina inician un preocupante crescendo. Si nunca hubiera volado en un avión, en este momento tendría serias dudas de que vayamos a alzar el vuelo.

Sin embargo, la ingente cantidad de energía almacenada en el queroseno nos empuja cada vez más deprisa; un combustible más potente que la nitroglicerina, utilizado a un ritmo de cuatro litros por segundo. Ahora el avión está llegando al final de los tres kilómetros de pista a una velocidad de 260 kilómetros por hora. Posiblemente sea este el momento más peligroso del vuelo. Ya no queda mucha pista, y si no despegamos pronto nos saldremos de ella y nos estrellaremos contra los edificios que se alzan al frente con nuestros miles de litros de queroseno en los depósitos de combustible. No es así. De forma majestuosa, como un ganso alzando el vuelo desde un estanque, nos elevamos hacia el cielo, y, en cuestión de segundos, dejamos atrás todos aquellos edificios, coches y personas. Este es el momento que más me gusta de volar, sobre todo cuando significa atravesar las nubes bajas de Londres para alcanzar el sol brillante, como en este día. Parece que entramos en otro ámbito de la existencia, y nunca me canso de hacerlo.

Un avión es, en cierto modo, la moderna lámpara mágica. Su genio es el queroseno, que nos concede el deseo de ir a cualquier lugar del mundo y nos transporta volando no con una alfombra mágica, sino con algo mucho mejor, una cabina que nos protege del viento y el frío extremos, y que es lo bastante cómoda como para que podamos relajarnos, incluso dormir, durante el viaje.

Naturalmente, como todos los genios, este también tiene su lado oscuro. Nos hemos enamorado del poder del queroseno, pero volar, y en general el uso de otros productos derivados del petróleo, está causando estragos en nuestro clima global, que se está calentando muy deprisa a causa de las emisiones de dióxido de carbono que produce la quema de combustibles como el queroseno. En la actualidad, consumimos globalmente unos 16.000 millones de litros de petróleo al día. Sin duda, una de las preguntas más importantes para el siglo XXI es si algún día seremos capaces de devolver el genio a la botella.

Pero por encima de las nubes, si he de ser sincero, no pienso en nada de eso, sino que me dejo maravilliar por los paisajes creados por las nubes y espero con ganas que me ofrezcan alguna bebida del carrito, que ya ha empezado a rodar alegremente por el pasillo.